

Diseño integral y modelado BIM del Yate Balboa

Trabajo Final de Grado



Universidad Tecnológica de Panamá
Facultad de Ingeniería Mecánica

Trabajo realizado por:

Carles Amorós Amorós

Lluís Balsells Altadill

Sergi Blanco Duch

Dirigido por:

TORRES AROSEMENA, GABRIEL ALEXIS

Grado en Ingeniería Naval

Ciudad de Panamá, 13 de julio de 2018

Agradecimientos

Después de cuatro años, finalizo mis estudios en la Ciudad de Panamá. En este momento solo puedo agradecer a mi familia todo el apoyo incondicional que siempre he recibido. A Joana, porque incluso en la distancia, siempre ha estado a mi lado y ha sido partícipe de todo este trayecto. Y a mis compañeros de proyecto, que después de esta experiencia se han convertido en grandes amigos.

Lluís Balsells Altadill

Llegado a este punto, solamente me queda mirar atrás y agradecer. A mi familia por el apoyo constante recibido durante toda mi vida. A Júlia, por estar siempre dispuesta a ayudarme por encima de sus propios intereses y finalmente a esos compañeros de estudios que han terminado siendo grandes amigos.

Carles Amorós Amorós

Le agradezco a mi familia por el apoyo incondicional, gracias a la ayuda que mis padres me han brindado he podido cursar estudios universitarios en el ámbito que yo elegí y por la oportunidad de terminar estos en el extranjero. También a todos los compañeros y profesores con los que he tenido la oportunidad de coincidir durante mi formación.

Sergi Blanco Duch

Finalmente, y de forma conjunta, agradecer a la UTP la oportunidad de haber podido realizar aquí nuestro proyecto. En especial a Gabriel Torres, nuestro asesor, juntamente con todo el equipo del LEPUM.

Resumen

Este proyecto se divide en tres capítulos. En el primero se aborda la obtención de las medidas principales, diseño de las formas y estructura. En el segundo se dimensionan los sistemas necesarios para un correcto funcionamiento de la embarcación. Por último, en el tercer capítulo, se explica el proceso constructivo de una nave de estas características.

Durante el desarrollo de este proyecto, se hace uso de herramientas informáticas especializadas.

Para la generación de la carena y superficies del casco y superestructura, se emplea Rhinoceros. Para los cálculos hidrostáticos y de resistencia al avance, Maxsurf. Para los cálculos mediante elementos finitos, Ramseries. Para las labores de organización, Ganttter y para cálculos generales, Excel. Finalmente se crea un modelo de coordinación BIM en el programa Revit de Autodesk.

Para la explicación del proceso constructivo, se desarrolla la estrategia de construcción, se presenta el espacio físico dentro del territorio panameño donde se dispondrá la construcción, se especifica el tiempo para cada proceso y, por último, se estima un presupuesto completo donde se presentan la cantidad de insumos por sistema, costos de instalación y costes operativos.

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
TABLA DE CONTENIDOS	V
LISTADO DE FIGURAS	IX
LISTADO DE TABLAS	XV
<u>CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA</u>	<u>1</u>
1. INTRODUCCIÓN Y FILOSOFÍA DEL PROYECTO	1
1.1 OBJETIVO	1
1.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO	1
2. DISEÑO PRELIMINAR DE LA EMBARCACIÓN	3
2.1 MEDICIONES LONGITUDINALES	3
2.2 MEDICIONES TRANSVERSALES	4
2.3 MEDICIONES VERTICALES	4
2.4 BASE DE DATOS Y OBTENCIÓN DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES	4
2.5 CÁLCULO DE LA ASTILLA MUERTA	9
3. MODELADO DE LA EMBARCACIÓN	12
3.1 CURVAS Y SUPERFICIES NURBS	12
3.2 MODELIZACIÓN DEL CASCO	13
3.3 MODELIZACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA	17
4. DISPOSICIÓN DE LOS ESPACIOS DE LA EMBARCACIÓN	20
4.1 BIM (MODELADO CON INFORMACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN)	20
4.2 DISPOSICIÓN DE LAS CUBIERTAS	21
5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	27
5.1. ESTRUCTURA DEL CASCO	27
5.2. ESTRUCTURA DE LAS CUBIERTAS	29
5.3. ESTRUCTURA DE LA SUPERESTRUCTURA	30
6. PREPARACIÓN DE LA GEOMETRÍA	31
6.1. CORRECCIÓN DE LAS SUPERFICIES	31
7. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LAS PLANCHAS MEDIANTE LA TEORÍA CLÁSICA DE PLACAS	34
7.1. CÁLCULO DE LAS PRESIONES MEDIANTE UN PROGRAMA CFD	35
7.2. CÁLCULO DE LAS PLANCHAS DE FONDO	38
7.3. CÁLCULO DE LAS PLANCHAS DE COSTADO	39
8. ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS	40

8.1.	INTRODUCCIÓN	40
8.2.	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DEL CASCO	42
8.3.	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA SUPERESTRUCTURA	61
9.	CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA EMBARCACIÓN	69
9.1	CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA ESTRUCTURA	69
9.2	CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LOS MOTORES	71
9.3	CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LOS GENERADORES	71
9.4	CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL MOBILIARIO	71
9.5	UBICACIÓN DEL DOBLE FONDO Y LOS TANQUES	72
9.6	CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD	76
10.	EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD	78
10.1.	ENSAYO DE LA ALTURA DE INUNDACIÓN	78
10.2.	ÁNGULO DE INUNDACIÓN	79
10.3.	ENSAYO DE COMPENSACIÓN DE PESOS	80
10.4.	RESISTENCIA A LAS OLAS Y VIENTOS	81
CAPITULO 2: SISTEMAS A BORDO		84
11.	SISTEMA CONTRA INCENDIOS.	86
11.1.	AGUA NEBULIZADA	86
11.2.	COMPONENTES DEL SISTEMA.	87
11.3.	SISTEMA CONTRA INCENDIOS EN CÁMARA DE MÁQUINAS.	91
12.	SISTEMA DE ACHIQUE.	95
12.1.	EQUIPOS A INSTALAR	96
12.2.	DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULOS.	97
13.	SISTEMA DE FONDEO Y AMARRE	99
13.1.	NUMERO DE EQUIPO.	99
13.2.	SELECCIÓN DEL EQUIPO.	100
13.3.	PESO DEL EQUIPO	102
13.4.	CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOLINETE	102
13.5.	CÁLCULO DE LA CAJA DE CADENAS	103
14.	SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	104
15.	SISTEMA DE AGUA POTABLE	106
15.1.	CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGUA	106
16.	SERVICIO SANITARIO	109
16.1.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO.	109
17.	SISTEMA ELÉCTRICO	112
17.1.	TIPOLOGÍAS DE REDES A BORDO	112

17.2.	PROTECCIONES A EMPLEAR	113
17.3.	TIPOS DE ESQUEMAS	115
17.4.	TENSIÓN Y FRECUENCIA.	116
17.5.	BALANCE ELÉCTRICO	120
18.	SISTEMA PROPULSIVO.	123
18.1.	RESISTENCIA AL AVANCE	123
18.2.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE	127
18.3.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE	127
18.4.	MÉTODO DE SAVITSKY	128
18.5.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE MEDIANTE MAXSURF RESISTANCE	128
18.6.	ELECCIÓN DEL SISTEMA PROPULSIVO	130
19.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.	133
19.1.	CALCULO DEL VOLUMEN DE COMBUSTIBLE.	133
CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN		136
20.	CONSTRUCCIÓN NAVAL	136
20.1.	CORTE	138
20.2.	SOLDADURA	139
20.3.	PINTURA Y ACABADO	147
20.4.	EQUIPAMIENTO	152
20.5.	PRUEBAS	153
20.6.	SEGURIDAD Y SALUD EN LA CONSTRUCCIÓN NAVAL	153
21.	ALUMINIO PARA LA CONSTRUCCIÓN NAVAL	156
21.1.	MANEJO Y ALMACENAJE	156
21.2.	CORTE	156
21.3.	SOLDADURA	159
21.4.	PINTURA	160
22.	CONSTRUCCIÓN DEL YATE BALBOA	162
22.1.	LOCALIZACIÓN	162
22.2.	EQUIPAMIENTO	163
22.3.	INVENTARIO	165
22.4.	PROCESOS	171
22.5.	PRESUPUESTO	222
BIBLIOGRAFIA		227
ANEXOS		229

Listado de figuras

Figura 1 <i>Gráfico de la manga en función de la eslora.</i>	6
Figura 2 <i>Gráfico del calado en función de la eslora.</i>	6
Figura 3 <i>Gráfico del desplazamiento en función de la eslora.</i>	7
Figura 4 <i>Distribución de las presiones y fuerzas en el planeo de una embarcación.</i>	8
Figura 5 <i>Astilla muerta reducida.</i>	9
Figura 6 <i>Astilla muerta amplia.</i>	10
Figura 7 <i>Astilla muerta intermedia.</i>	10
Figura 8 <i>Casco con chines.</i>	10
Figura 9 <i>Superficie NURBS y sus puntos de control</i>	13
Figura 10 <i>Editor de capas del programa Rhinoceros.</i>	13
Figura 11 <i>Perspectiva línea de popa.</i>	14
Figura 12 <i>Alzado línea de popa.</i>	14
Figura 13 <i>Perspectiva de las líneas preliminares de la carena.</i>	14
Figura 14 <i>Perspectiva del chine</i>	15
Figura 15 <i>Alzado del chine.</i>	15
Figura 16 <i>Perspectiva de la carena</i> Figura 17 <i>Alzado de la carena</i>	15
Figura 18 <i>Geometría de la carena importada al programa Maxsurf.</i>	16
Figura 19 <i>Alzado de la superestructura.</i>	18
Figura 20 <i>Alambres que conforman la superestructura.</i>	18
Figura 21 <i>Superficies que forman la superestructura.</i>	18
Figura 22 <i>Vistas de la posición de la cubierta principal.</i>	19
Figura 23 <i>Perspectiva del conjunto.</i>	19
Figura 24 <i>Perspectiva de las tres cubiertas</i> Figura 25 <i>Alzado de las tres cubiertas</i>	21
Figura 26 <i>Distribución de la primera cubierta en Revit.</i>	22
Figura 27 <i>Camarote de la tripulación en Revit.</i>	22
Figura 28 <i>Distribuidor y camarotes individuales en Revit.</i>	23
Figura 29 <i>Suite número 1 en Revit.</i>	23
Figura 30 <i>Suite número 2 en Revit.</i>	24
Figura 31 <i>Terraza y comedor de la cubierta principal en Revit.</i>	24
Figura 32 <i>Cocina en Revit.</i>	25
Figura 33 <i>Puente de mando en Revit.</i>	25
Figura 34 <i>Camarote individual en Revit.</i>	26
Figura 35 <i>Solárium en Revit.</i>	26
Figura 36 <i>Perspectiva de la disposición de los mamparos.</i>	27

Figura 37 Alzado de la distribución de los mamparos.	27
Figura 38 Perspectiva de los anillos y mamparos.	27
Figura 39 Perspectiva de los anillos y mamparos con el casco.	27
Figura 40 Distribución de los refuerzos longitudinales.	28
Figura 41 Perspectiva de los refuerzos, los anillos y los mamparos.	28
Figura 42 Perspectiva de los refuerzos, los anillos y los mamparos con el casco.	28
Figura 43 Alzado de la distribución de las cubiertas.	29
Figura 44 Perspectiva de la distribución de las cubiertas.	29
Figura 45 Disposición de los refuerzos longitudinales de las cubiertas.	29
Figura 46 Perspectiva de la totalidad de los refuerzos del casco y cubiertas.	30
Figura 47 Refuerzos de la superestructura.	30
Figura 48 Superestructura con refuerzos.	30
Figura 49 Alambres generados a partir de la intersección de los elementos estructurales entre sí, y la línea de flotación.	32
Figura 50 Casco creado a partir de los alambres.	32
Figura 51 En rojo la obra muerta, en verde la obra viva del casco.	33
Figura 52 Espesores determinados según DNV-GL.	34
Figura 53 Superficie del casco y volumen de control.	36
Figura 54 Mallado con su propia información de malla.	36
Figura 55 Velocidades del fluido.	37
Figura 56 Campo de presiones en el casco.	37
Figura 57 Distribución de las presiones sobre una placa vertical.	38
Figura 58 Discretización de un modelo continuo.	40
Figura 59 Normales en sentidos opuestos.	42
Figura 60 Normales en el mismo sentido.	42
Figura 61 Menú de selección de características del problema en Tdyn.	43
Figura 62 Menú de opciones de importación en Tdyn.	44
Figura 63 Propiedades de los mamparos.	45
Figura 64 Propiedades de los anillos.	45
Figura 65 Propiedades de las chapas de fondo.	46
Figura 66 Propiedades de las chapas de costado.	46
Figura 67 Propiedades de los refuerzos longitudinales.	46
Figura 68 Parámetros fijados en la condición de simetría.	48
Figura 69 Elementos donde se aplican las restricciones.	48
Figura 70 Restricción del desplazamiento en X.	48
Figura 71 Elementos a los que se aplica la restricción.	48
Figura 72 Restricción del desplazamiento en Z.	49

Figura 73 Elementos a los que se aplica la restricción.....	49
Figura 74 Propiedades de la carga.	50
Figura 75 Representación de la carga aplicada.....	50
Figura 76 Propiedades de la carga.	51
Figura 77 Representación de la carga.	51
Figura 78 Asignación de la carga de peso propio.	51
Figura 79 Representación del mallado del casco y sus refuerzos.	52
Figura 80 Numero de nodos y elementos de la malla generada.	52
Figura 81 Desplazamientos absolutos.	53
Figura 82 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 30 MPa.	53
Figura 83 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 60 MPa.	54
Figura 84 Condición de arrufo para una embarcación.	54
Figura 85 Propiedades de la carga a aplicar.....	55
Figura 86 Representación de la carga aplicada.....	55
Figura 87 Desplazamientos absolutos.	56
Figura 88 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 30 MPa.	56
Figura 89 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 60 MPa.	57
Figura 90 Condición de quebranto para una embarcación.	57
Figura 91 Restricciones a aplicar en el apoyo.	58
Figura 92 Zona donde se aplican las restricciones.....	58
Figura 93 Desplazamientos absolutos.	59
Figura 94 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 30 MPa.	60
Figura 95 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 60 MPa.....	60
Figura 96 Propiedades asignadas a los refuerzos de la superestructura.....	61
Figura 97 Perspectiva de los refuerzos de la superestructura en Tdyn.....	61
Figura 98 Propiedades asignadas a las chapas de la superestructura.	62
Figura 99 Perspectiva de las chapas de la superestructura.	62
Figura 100 Restricciones a aplicar en el apoyo.....	62
Figura 101 Zonas donde se aplican las restricciones.	62
Figura 102 Restricciones a aplicar en el apoyo.....	63
Figura 103 Zonas donde se aplican las restricciones.	63
Figura 104 Propiedades de la carga a aplicar.....	64
Figura 105 Representación de la carga aplicada.....	64
Figura 106 Propiedades de la carga a aplicar.....	64
Figura 107 Representación de la carga	64
Figura 108 Propiedades de la carga a aplicar.....	65
Figura 109 Representación de la carga aplicada.....	65

Figura 110 Representación de la malla generada.	65
Figura 111 Número de nodos y de elementos presentes en la malla.	66
Figura 112 Deformaciones absolutas.	66
Figura 113 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 62.5 MPa.	67
Figura 114 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 31,25 MPa.	68
Figura 115 Superficies de los anillos de refuerzo en Rhinoceros.	69
Figura 116 Área total calculada en Rhinoceros.	70
Figura 117 Posición del centroide calculado en Rhinoceros.	70
Figura 118 Representación del espacio del doble fondo en Maxsurf.	72
Figura 119 Representación del espacio de doble fondo, pique de proa y pique de popa en Maxsurf.	73
Figura 120 Tanques de combustible representados en Maxsurf.	74
Figura 121 Representación del tanque de agua dulce en Maxsurf.	75
Figura 122 Representación del tanque de tratamiento de aguas residuales en Maxsurf.	75
Figura 123 Localización de las aperturas inundables en el perfil.	78
Figura 124 Localización de las aperturas inundables en la planta.	79
Figura 125 Comparación del tamaño de las gotas expulsadas según el tipo de rociador y sistema.	86
Figura 126 Boquilla nebulizadora cerrada.	88
Figura 127 Estación de bombeo, con tres módulos.	89
Figura 128 Distribución general del sistema contra incendios.	90
Figura 129 Detalle de la distribución de los rociadores en la cubierta principal.	90
Figura 130 Detalle de la distribución de los rociadores en la cubierta inferior.	90
Figura 131 Botellas de gas extintor conectadas a un colector y a unos rociadores.	92
Figura 132 Esquema de un sistema de achique sin separador de sentinas.	95
Figura 133 Bomba TS40 de la marca Blau Naval.	96
Figura 134 Bomba manual modelo Superlario 2 de la marca Blau Naval.	97
Figura 135 Esquema de las dimensiones a utilizar en el cálculo del número de quipo.	99
Figura 136 Ancla tipo hall de la empresa Trillo.	101
Figura 137 Esquema de funcionamiento de un sistema de climatización mediante ventiloconvectores.	104
Figura 138 Tipologías de fancoils según su ubicación.	105
Figura 139 Distribución del circuito de agua fría en Revit.	108
Figura 140 Distribución del circuito de agua caliente en Revit.	108
Figura 141 Tanque de tratamiento biológico de aguas residuales.	110
Figura 142 Opciones proporcionadas por el fabricante para un mejor aprovechamiento del espacio.	111
Figura 143 Interruptor magnetotérmico bipolar.	113
Figura 144 Fusibles de distintos calibres y tipos.	114
Figura 145 Ejemplo de un esquema multifilar.	115
Figura 146 Ejemplo de un esquema unifilar.	115

Figura 147 Esquema de las luces de navegación.	117
Figura 148 Luces de emergencia 24V DC con batería.	118
Figura 149 Generador diésel de la casa Kohler modelo 40EFOZDJ de 20,5kW.	121
Figura 150 Generador diésel de la casa Kohler modelo 9EKOZD de 7kW.	121
Figura 151 Batería marina de descarga profunda de la casa Trojan.	122
Figura 152 Sistema de olas formada por el avance de una embarcación.	126
Figura 153 Curva de la resistencia por olas en función del número de Froude.	127
Figura 154 Datos hidrostáticos del casco sometido al ensayo en el Maxsurf Resistance.	128
Figura 155 Sistema propulsivo y de gobierno propuesto por volvo.	130
Figura 156 Unidad propulsora del sistema Volvo Penta IPS con hélices contrarotantes.	131
Figura 157 Instalación doble del sistema propulsivo Volvo Penta IPS.	132
Figura 158 Gráfico de la potencia proporcionada en función de las revoluciones.	133
Figura 159 Gráfico del consumo de combustible en función de las revoluciones.	134
Figura 160 Diagrama de flujos de construcción naval.	136
Figura 161 Corte de planchas de metal con soplete automático en un taller de fabricación	138
Figura 162 Soldadura metálica por arco protegido (SMAW)	140
Figura 163 Soldadura por arco sumergido (SAW)	141
Figura 164 Soldadura por arco metálico en atmosfera gaseosa (GMAW)	142
Figura 165 Soldadura de arco de tungsteno (GTAW)	143
Figura 166 Soldadura por arco con núcleo de material fundente (FCAW)	144
Figura 167 Soldadura por arco de plasma (PAW)	145
Figura 168 Soldadura con gas.	146
Figura 169 Soldadura con laser	146
Figura 170 Soldadura por haz de electrones	147
Figura 171 Corte por arco de plasma	157
Figura 172 Corte por rayo laser	158
Figura 173 Astillero Balboa.	162
Figura 174 Biga perfil T	166
Figura 175 Biga perfil L	167
Figura 176 Diagrama Ganttter.	172
Figura 177 Conjunto de piezas del yate	175
Figura 178 Soldadura bloque 1	213
Figura 179 Soldadura bloque 2	214
Figura 180 Soldadura bloque 3	215
Figura 181 Soldadura bloque 4	216
Figura 182 Soldadura bloque 5	217
Figura 183 Soldadura superestructura	218

Figura 184 <i>Bloques del yate</i>	219
Figura 185 <i>Sección bloques 1-2</i>	219
Figura 186 <i>Sección bloques 2-3</i>	220
Figura 187 <i>Sección bloques 3-4</i>	220
Figura 188 <i>Sección bloques 4-5</i>	221

Listado de tablas

Tabla 1 Base de datos de yates de dimensiones parecidas.	5
Tabla 2 Caso de carga en Maxsurf.....	16
Tabla 3 Resultados en Maxsurf.....	16
Tabla 4 Casco de carga en Maxsurf.....	17
Tabla 5 Resultados en Maxsurf.....	17
Tabla 6 Tabla de pesos y coordenadas del centro de gravedad de los elementos estructurales.	70
Tabla 7 Tabla de volúmenes de los piques de proa y popa.....	73
Tabla 8 Tabla de volúmenes de los tanques de combustible.....	74
Tabla 9 Tabla de pesos y centros de gravedad de los tanques.....	76
Tabla 10 Resultados del ensayo de la altura de inundación.....	79
Tabla 11 Tabla de resultados del ensayo del ángulo de inundación.	79
Tabla 12 Posición del centro de gravedad de la tripulación durante el ensayo.	80
Tabla 13 Posición del centro de gravedad de la tripulación durante el ensayo.	80
Tabla 14 Resultados del ensayo de compensación de pesos al 75% de la eslora.....	81
Tabla 15 Resultado del ensayo de compensación de pesos al 25% de la eslora.	81
Tabla 16 Tabla de resultados del ensayo de balance transversal debido a las olas y viento.	82
Tabla 17 Tabla de resultados del ensayo de resistencia a las olas.....	83
Tabla 18 Tabla de asignación del equipo necesario según el número obtenido.	100
Tabla 19 Tabla de características de las anclas tipo hall de la empresa Trillo.	101
Tabla 20 Tabla de características de las cadenas con contrate de la empresa Trillo.	102
Tabla 21 Tabla del consumo de agua dulce estimado por día.....	107
Tabla 22 Características de los modelos 50 y 80 de Enteron.....	110
Tabla 23 Tabla de resultados del ensayo de resistencia al avance en Maxsurf Resistance.	129
Tabla 24 Propiedades mecánicas mínimas para aleaciones de aluminio con soldadura	160
Tabla 25 Dimensiones diques Astillero Balboa	163
Tabla 26 Equipamiento Astillero Balboa.....	163
Tabla 27 Dimensiones de aluminio por piezas.....	165
Tabla 28 Medidas y cantidad de chapas de aluminio.....	166
Tabla 29 Medidas y longitud de bigas perfil T	167
Tabla 30 Medidas y longitud bigas perfil L	167
Tabla 31 Equipamiento sistemas	168
Tabla 32 Esquema de pintado	222
Tabla 33 Presupuesto.....	223

CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA

1. Introducción y filosofía del proyecto

1.1 Objetivo

El objetivo a conseguir del presente proyecto es diseñar una embarcación de recreo que comprenda una eslora total de 26 metros.

Dicha embarcación se va a dedicar a recorrer el trayecto desde Playita de Amador, en Ciudad de Panamá, hasta el puerto de Sapzurro, en Cartagena de Indias, en un tiempo no mayor a 13 horas.

El diseño de la embarcación persigue dotar al yate de un aspecto deportivo y elegante, garantizando la comodidad y ofreciendo una sensación de confort y amplitud para sus pasajeros. La embarcación podrá transportar hasta 8 pasajeros y 4 tripulantes.

Para dar forma al proyecto, se realizará un estudio de mercado de las embarcaciones con características similares a la que se va a proyectar. Procediendo de esta manera, se pretende partir de unos datos de diseño preliminares para evitar así posibles problemas futuros. Por ello, se estudiará la geometría del casco, la estimación del sistema propulsivo, la distribución general del espacio interior, el diseño estructural y la estabilidad para así proyectar un yate óptimo para la navegación.

Para realizar todo este estudio, se requiere del conocimiento y uso de varios programas informáticos como Rhinoceros, para la generación de todas las formas y superficies de la embarcación; Maxsurf, para el estudio hidrostático y estabilidad de la embarcación; Revit para arquitectura de los espacios; y Ramseries, para el cálculo de elementos finitos aplicado a toda la estructura.

1.2 Metodología de diseño

El diseño de una embarcación es un proceso cíclico e iterativo donde el resultado final ha de cumplir con unos requisitos planteados al principio del diseño. A todo este proceso se le llama espiral de proyecto, donde el encargado de realizarlo pasará por todas las áreas que conforman el proyecto para, después, volver al inicio de este y empezar de nuevo con otra vuelta. En las primeras fases de la espiral, será posible que se asuman valores y formas básicas que probablemente no serán precisas. A medida que se vaya recorriendo esta espiral, se irán refinando todos estos valores hasta obtener el resultado deseado.

Otro aspecto muy importante es desglosar las distintas fases de un proyecto naval, que son la fase conceptual, contractual y de construcción.

En la fase conceptual se determina la viabilidad del proyecto. Se parte de unos datos a partir de los que se debe definir la combinación de mayor rendimiento económico, teniendo en cuenta cual es la inversión económica. Los resultados de esta fase son la definición de las especificaciones de la obra y la estimación de su coste que permitirán determinar la viabilidad, o no, del proyecto.

El presente proyecto se centra en la fase contractual. Esta fase define cual es el desarrollo técnico de la construcción de la embarcación y se comprueba que se cumplen, con unos márgenes adecuados, los requisitos de diseño y seguridad.

El punto de partida de este proceso es una base de datos de distintos buques con características similares a la embarcación que se quiere proyectar, para así estimar aspectos críticos como las dimensiones principales, la estabilidad, la potencia... Estas primeras estimaciones cambiarán a medida que se avance en el diseño, cada vez serán más exactas hasta que llegaran a ser las definitivas cuando el diseño esté acabado del todo.

Las fases que se abarcarán en este proyecto contractual son:

- **Anteproyecto y diseño preliminar:** En esta fase, mediante una base de datos de buques similares al que se quiere proyectar, se definen aproximadamente cuales van a ser las dimensiones principales des de las que se va a partir, como son: la eslora, la manga y el calado. Cuanta más información se tenga sobre los buques escogidos para realizar el estudio, más información sobre las dimensiones principales de la embarcación a proyectar se va a obtener.
- **Geometría del casco:** a partir de las dimensiones obtenidas en la fase anterior, se procederá a diseñar la carena. Para este propósito se utilizarán las herramientas informáticas Rhinoceros y Maxsurf, con las que se podrá definir nuevos parámetros de la geometría de la carena.
- **Distribución general del espacio interior:** en esta fase se procederá a organizar, de la manera más eficiente posible, el espacio disponible dentro de la embarcación. Es muy importante en esta fase tener en cuenta la comodidad y la habitabilidad de los espacios.
- **Diseño y cálculo estructural:** basándose en las reglas de la sociedad de clasificación DNV-GL, se realizará el escantillonado en aluminio. Se procederá a comprobar este dimensionamiento calculando las deformaciones de las planchas del casco usando la teoría clásica de placas y mediante un análisis por elementos finitos utilizando la herramienta informática Ramseries.
- **Cálculo de pesos:** se estimará el centro de gravedad del yate a partir del peso de la estructura y todos los elementos de masa significativa que lo conforman.
- **Evaluación de la estabilidad:** se evaluará cuáles son las condiciones de estabilidad de la embarcación según la normativa UNE-ISO 12217.

2. Diseño preliminar de la embarcación

Al realizar este tipo de proyectos es muy importante poder confeccionar una base de datos con la información de varios buques existentes en el mercado. Estos buques tienen que realizar la misma función o ser muy parecidos a la embarcación que se quiere proyectar. La información que se recopilará son las características relativas a las dimensiones principales.

Es muy importante que en el proyecto queden bien definidas las dimensiones y como estas se van a referenciar. Por esto mismo, a partir de la normativa UNE-ISO 8666 [1] se procede a definir como se consideran las dimensiones básicas del proyecto.

A continuación, se definen las mediciones longitudinales, transversales y verticales que influyen en la base de datos que más adelante va a ser creada.

2.1 Mediciones longitudinales

Las mediciones longitudinales se miden paralelamente a la línea de flotación y al eje de la embarcación como la distancia entre los planos verticales perpendiculares al plano central de la embarcación.

Se definen 3 tipos de mediciones longitudinales o esloras.

Eslora total:

Eslora total o “*length over all*” (L_{OA}) es la longitud máxima de la embarcación. Incluye todas las partes estructurales de la embarcación y las que forman parte integrante de la misma. Esta longitud también incluye partes que están normalmente fijadas en la embarcación, como, por ejemplo, el timón, plataformas salientes en cualquier extremo de la embarcación, guarniciones de proa, palos fijos, penoles, defensas permanentes.

Esta longitud no incluye motores fuera borda o cualquier otro tipo de equipos que pueda desmontarse sin el uso de herramientas.

Eslora del casco

Eslora del casco o “*hull length*” (L_h) es la longitud máxima del casco que excluye todas las partes móviles que se puedan desmontar de manera no destructiva, sin afectar a la integridad estructural de la embarcación, siempre y cuando no actúen como un soporte hidrostático o hidrodinámico cuando la embarcación se encuentra en reposo o navegando.

Eslora de flotación

La eslora de flotación o “*length of waterline*” (L_{WL}) define la longitud de la línea de flotación de la embarcación para un estado de carga determinado. Esta longitud se mide desde la parte más a proa de la intersección del plano de flotación con la roda y la parte más a popa de la intersección del casco con el plano de la flotación.

2.2 Mediciones transversales

Estas dimensiones se deben medir como la distancia entre dos planos verticales paralelos al plano central de la embarcación.

Manga máxima

La manga máxima (B_{max}) es la longitud comprendida entre los dos planos tangentes a las partes más externas de la embarcación, incluyendo también todas las partes estructurales que forman parte de la embarcación.

Manga de flotación

La manga de flotación (B_{WL}) es la longitud comprendida entre dos planos que pasan por las partes más exteriores donde el casco se interseca con el plano de la flotación. Esto es para un caso determinado de carga.

2.3 Mediciones verticales

Las mediciones verticales a tener en cuenta en este proyecto son las siguientes:

Puntal

El puntal (D) es la distancia vertical entre la línea de cubierta en la mitad de la eslora de flotación y punto más bajo de la quilla de la embarcación.

Calado

El calado (T) es la longitud de la parte sumergida del casco y debe medirse desde la altura de la línea de flotación hasta la parte más baja de la obra viva, apéndices incluidos. Esto variará dependiendo de la carga de la embarcación, así que existirá un calado máximo (T_{max}) y un calado mínimo (T_{min}). El calado de cuerpo (T_c) de la embarcación no incluye ni las quillas ni los apéndices.

2.4 Base de datos y obtención de las dimensiones principales

El siguiente paso después de haber definido las longitudes principales de la embarcación es crear una base de datos utilizando embarcaciones existentes en el mercado. De esta forma se obtendrán unos valores orientativos de las dimensiones que debe tener la embarcación a diseñar.

Por suerte, es muy fácil y rápido obtener información sobre embarcaciones de recreo existentes en el mercado, ya que muchos astilleros publican en sus páginas web sus distintos diseños y sus dimensiones principales.

De todos los modelos, debemos recopilar información sobre la eslora, el calado, el puntal, la velocidad de crucero y el desplazamiento. Una vez recopilada esta información, podemos generar las líneas de

regresión que nos van a permitir obtener unos valores orientativos sobre el desplazamiento, el calado y la manga que una embarcación de 26 metros debe tener.

También es muy importante conocer la velocidad de crucero a la que navegará la embarcación que, en este caso, al tener que recorrer una ruta determinada en un tiempo máximo este valor ya está definido.

A continuación, en la *Tabla 1*, se muestra la base de datos con las dimensiones principales de cada modelo. La mayoría de modelos con esloras parecidas tienen unas dimensiones similares, pero hay casos en que algunos diseños, a pesar de tener esloras muy semejantes, difieren mucho en alguna de las dimensiones principales. Es por esto no se debe tener en cuenta, a la hora de crear las líneas de regresión, las dimensiones que difieran mucho del resto.

Tabla 1 Base de datos de yates de dimensiones parecidas.

	LOA (m)	DESP (T)	B (m)	T (m)
Sunseeker86	26,3	67	6,47	1,95
Ferreti 780	24,01	65	5,8	1,94
Ferreti 850	26,14	77,5	6,28	2
Astonda 80	24,95	60	6	1,08
Riva 88	26,81	73,6	6,29	1,82
Canados 88' evolution	27,02	75	6,4	2
Azimut grande 27 metri	26,78	89	6,59	1,9
Dominator Ilumen 28m	27,35	90,5	6,58	1,75

A partir de todos estos datos se crean las líneas de regresión que van a permitir obtener unos valores aproximados de las dimensiones del yate a proyectar. Es muy importante conocer cual es la ecuación de cada una de estas rectas.

La primera recta creada es la que representa la manga en función de la eslora, y es la que se muestra en la *Figura 1*:

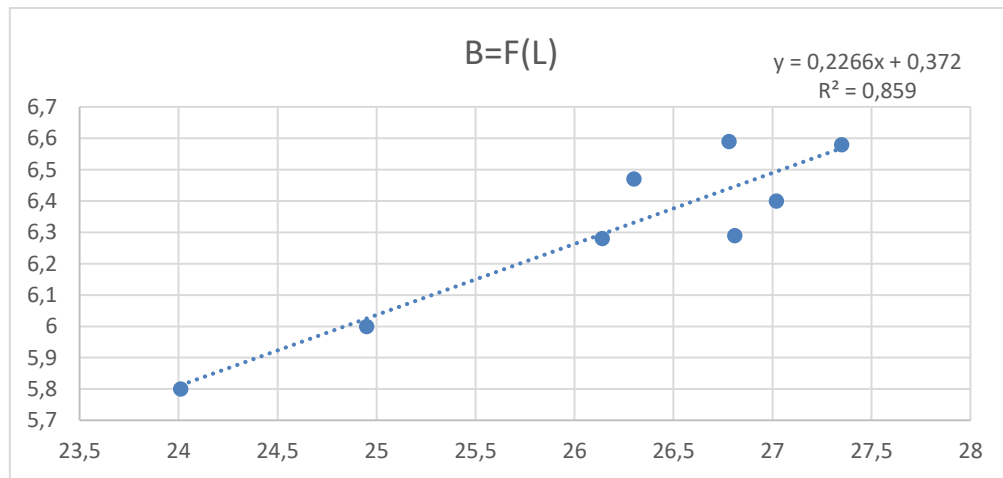


Figura 1 Gráfico de la manga en función de la eslora.

A partir de la ecuación de la recta, determinando un valor para la eslora, se obtiene un valor aproximado para la manga.

$$B = 0,2266L + 0,372$$

$$B = 0,2266 * 26 + 0,372$$

$$B = 6,26 \text{ m}$$

El siguiente grafico que se usará para determinar otra de las dimensiones más importantes del yate es la que relaciona el calado con la eslora y que se muestra en la *Figura 2*.

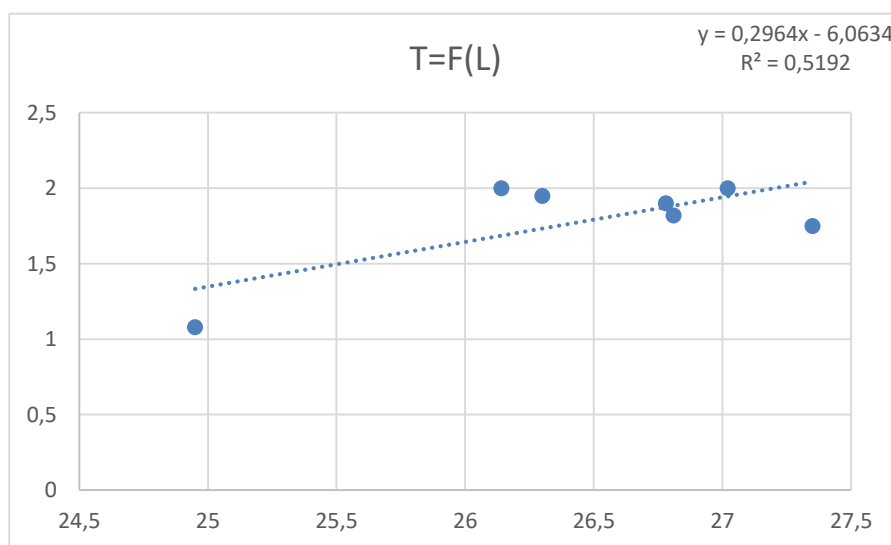


Figura 2 Gráfico del calado en función de la eslora.

$$T = 0,2964L - 6,0634$$

$$T = 0,2964 * 26 - 6,0634$$

$$T = 1,64 \text{ m}$$

Una vez obtenidas estas longitudes que nos servirán como punto de partida, hay que calcular cual será el desplazamiento aproximado de la embarcación. La metodología a seguir es la misma.

En la *Figura 3*, se muestra el gráfico que representa la eslora en función del desplazamiento.

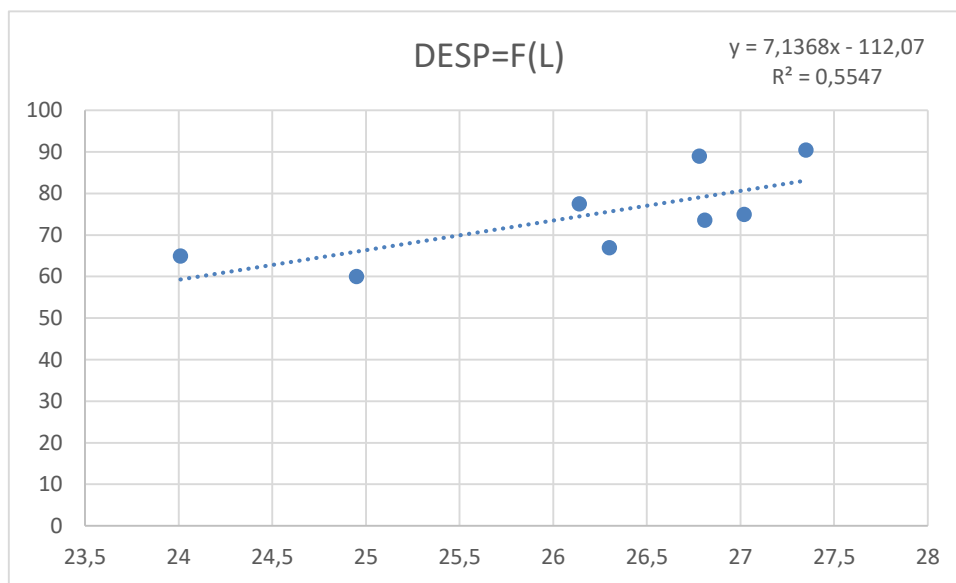


Figura 3 Gráfico del desplazamiento en función de la eslora.

$$Desp = 7,136L - 112,7$$

$$Desp = 7,136 * 26 - 112,7$$

$$Desp = 72,832 \text{ ton}$$

Por último, se debe determinar cual va a ser la velocidad de crucero. Como se ha explicado anteriormente, el yate debe cubrir la ruta entre Playita de Amador en Ciudad de Panamá, hasta el puerto de Sapzurro en Cartagena de Indias en un tiempo no mayor a 13 horas.

Para determinar cual va a ser la velocidad de crucero, primero se debe conocer el espacio a recorrer en millas náuticas. Mediante la aplicación Navionics se calcula que el recorrido es de 256 millas náuticas, que deben recorrerse en 13 horas.

$$Velocidad = \frac{256}{13} = 19,46 \simeq 20 \text{ kn}$$

Una vez obtenido el desplazamiento aproximado, se debe predecir donde se va a encontrar el centro de gravedad de la embarcación. El objetivo que se persigue es el diseño de una carena que tenga una flotación adrizada y sin asiento y a la vez, buenos resultados en la navegación. Este punto es de gran importancia como se ha visto anteriormente.

La manera a proceder es la siguiente. Se supone el centro de gravedad en el punto óptimo donde debe estar para que la carena tenga un mejor rendimiento. Esto puede parecer confuso, ya que para asegurar la posición de este cuando la embarcación este construida, se debería tener en cuenta el peso de toda la estructura y de todos los componentes que conforman el barco.

Con el paso del tiempo se ha visto que esto no es así. Los diseñadores de embarcaciones, a través de la experiencia, han llegado a la conclusión que es más sencillo y tiene mejores resultados adaptar algunos elementos móviles del barco, como pueden ser baterías, sistemas, generadores..., para así aproximarse al máximo al punto óptimo donde debe estar el centro de pesos de la embarcación.

Para la carena que va a diseñarse, se debe considerar como el centro longitudinal de carena óptimo el que se encuentra a un 40% de la eslora de flotación.

Llegados a este punto, hemos justificado que se ha de diseñar un casco para un yate de 73 toneladas, es decir que tenga un volumen sumergido de 71,31 metros cúbicos y que tenga su centro de carena aproximadamente en el 40% de su eslora de flotación.

Todo el diseño de la embarcación se debe realizar de manera que su centro de gravedad se encuentre en el mismo punto longitudinal para garantizar todo lo siguiente:

- Cuando la embarcación se encuentre flotando en reposo, esta no va a tener ningún asiento. Este es un aspecto muy importante para la comodidad de la embarcación.
- Cuando la embarcación empiece a navegar a cierta velocidad, ésta empezará a planear de forma satisfactoria, ya que el centro de gravedad influye mucho en el planeo. Esto se representa en la *Figura 4*.

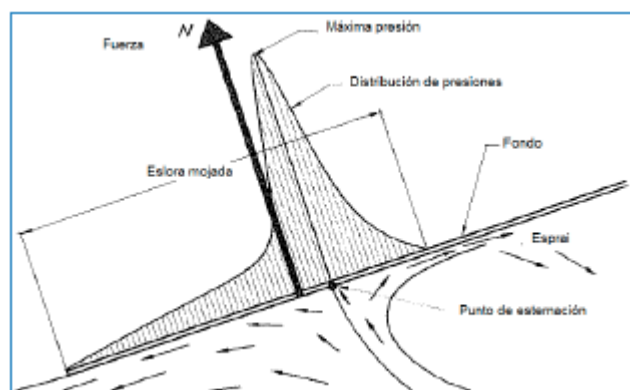


Figura 4 Distribución de las presiones y fuerzas en el planeo de una embarcación.

El punto N es donde se aplica la fuerza resultante del avance de la embarcación. Si el centro de gravedad se encuentra por delante de este punto, el yate caerá de la ola generada y dejará de planear. Este es un proceso que se irá repitiendo cíclicamente. Pero si por el contrario, el centro de gravedad se encuentra

muy atrasado, la embarcación hundirá la popa sufriendo así un incremento muy grande en la resistencia al avance.

2.5 Cálculo de la astilla muerta

El comportamiento de una embarcación durante la navegación dependerá, en gran parte, del ángulo de astilla muerta del casco. Se pueden definir tres rangos de astilla muerta: amplia, reducida y moderada. Cada uno de estos rangos tiene puntos a favor y puntos en contra, todo depende de las condiciones en las que navegará la embarcación y que uso se le dará.

2.5.1 Astilla muerta reducida

Este rango de astilla muerta ronda los 10° , el principal inconveniente es el impacto que las olas ejercen sobre el casco. Pero es una muy buena opción para la navegación rápida en aguas tranquilas ya que se obtiene un rápido planeo.

Estos valores de astilla muerta se contemplan para embarcaciones que navegan en lagos o ríos, aguas interiores, pero para una embarcación que navegue en aguas abiertas no es una opción a contemplar. Se puede observar un ejemplo de astilla muerta reducida en la *Figura 5*.

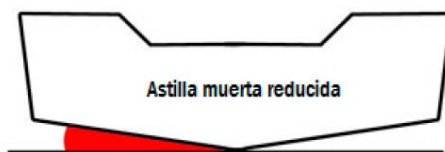


Figura 5 Astilla muerta reducida.

2.5.2 Astilla muerta amplia

Este otro rango de astilla muerta ronda los 24° aproximadamente. Es ideal para barcos rápidos que navegan en condiciones de navegación difíciles. Gracias a esta inclinación, estas embarcaciones pueden mantener su velocidad.

Cuanto mayor es la velocidad, mayor debe ser la profundidad de la astilla muerta para poder tener una navegación más segura.

Los principales inconvenientes de este tipo de astilla muerta son el aumento del calado, que comporta un aumento en la resistencia al avance, la disminución de la estabilidad lateral y los rociones de agua a bordo. El casco tiende a expulsar el agua en una dirección más vertical que horizontal.

Se puede observar un ejemplo de astilla muerta amplia en la *Figura 6*.



Figura 6 Astilla muerta amplia.

2.5.3 Astilla muerta moderada

Este rango de astilla muerta es el más empleado en la mayoría de embarcaciones de recreo, ya que se consigue juntar lo bueno de los dos distintos rangos explicados anteriormente.

Con una astilla muerta moderada no se cortará tan bien las olas como con una astilla muerta amplia, pero la embarcación será más estable, será rápida, eficiente en el consumo de combustible y no se salpicará agua abordo.

A continuación, se muestra un ejemplo de astilla muerta moderada en la *Figura 7*.

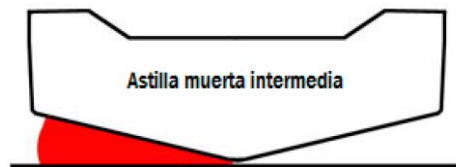


Figura 7 Astilla muerta intermedia.

2.5.4 Astilla muerta con chines

Un chine es un carril horizontal que recorre el costado del casco, gracias a este carril horizontal el casco consigue una fuerza de sustentación extra.

Como se puede observar en la *Figura 8*, en esta carena se mezcla una astilla moderada-amplia con unos chines, estos chines se prolongarán des de la proa hasta el punto donde se considere que la embarcación ya obtiene un planeo completo.



Figura 8 Casco con chines.

CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA

Una vez conocidas las distintas opciones, debemos escoger una que se adecue al tipo de embarcación que se está diseñando. Como se busca que la embarcación tenga una navegación cómoda y sea rápida, se va a escoger una astilla moderada. Recurriendo a los distintos modelos existentes en el mercado, se llega a la conclusión que con una astilla muerta de 14º con chinas se podrá garantizar una navegación cómoda.

3. Modelado de la embarcación

Una vez llegados a este punto, ya se puede realizar un primer boceto de la carena. Para ello se va a usar un programa llamado Rhinoceros que utiliza un modelo matemático llamado NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline). En este apartado se va a explicar paso a paso como se ha creado la carena.

3.1 Curvas y superficies NURBS

En 1950, unos ingenieros que necesitaban poder representar superficies de forma libre como las usadas en barcos, carrocerías de automóviles o vehículos aeroespaciales, empezaron a desarrollar las curvas y superficies NURBS. De esta manera, los ingenieros o diseñadores podían representar sus diseños sin la necesidad de crear un modelo físico o maqueta.

Las primeras NURBS fueron usadas en las compañías automotrices y más tarde pasaron a formar parte del estándar en paquetes de gráficos por computadora. En 1985, Formation Design Systems, creó el primer modelador interactivo de NURBS para computadora llamado Macsurf (posteriormente Maxsurf). Maxsurf es un sistema de diseño para cascos de barcos, botes y yates, que utilizaban los diseñadores para conseguir una alta precisión en sus diseños.

Las NURBS son representaciones matemáticas de geometría 3D capaces de describir cualquier forma con precisión, des de líneas en 2D como curvas, arcos o círculos hasta las superficies o sólidos más complejos en 3D.

La geometría NURBS tiene 4 cualidades que la convierten en la opción más adecuada para el modelado asistido por ordenador.

Existen varias formas estándar para poder intercambiar la geometría NURBS entre distintos programas de modelado, renderizado o análisis que hay en el mercado.

La geometría NURBS se enseña en las facultades de matemáticas e informática de las universidades más prestigiosas. Eso quiere decir que las empresas que necesiten crear un software especializado para el trabajo que se esté desarrollando, podrán encontrar programadores capaces de trabajar con la geometría NURBS.

Las NURBS pueden representar con mucha precisión objetos geométricos como líneas 2D, círculos, arcos, elipses, esferas y toroides, así como formas geométricas libres, por ejemplo, la superficie de un casco.

La representación de una forma geométrica en NURBS requiere mucha menos información que la que necesitan por separado las aproximaciones comunes.

Las curvas y las superficies NURBS se pueden desglosar en dos componentes: el grado y los puntos de control.

Un grado es un número positivo, generalmente 1, 2, 3 o 5, y se refiere al grado del polinomio que crea la curva. Por ejemplo, las líneas y poli líneas NURBS de Rhinoceros son de grado 1, los círculos y curvas de grado 2 y la mayoría de formas libres son de grado 3 o 5. Al trabajar con superficies muy complejas, aumentando el grado se aumenta la precisión de la superficie.

Una vez se ha creado una curva, podemos incrementar el grado de ésta sin que su forma cambie, pero si disminuimos el grado, la curva seguramente cambiará su forma.

Los puntos de control son una serie de puntos que nos permiten editar una curva o una superficie de una manera más gráfica y sencilla, simplemente modificando la posición de estos la forma de la superficie o de la curva que crean también se modificará. En la *Figura 9* podemos observar una superficie NURBS con sus puntos de control.

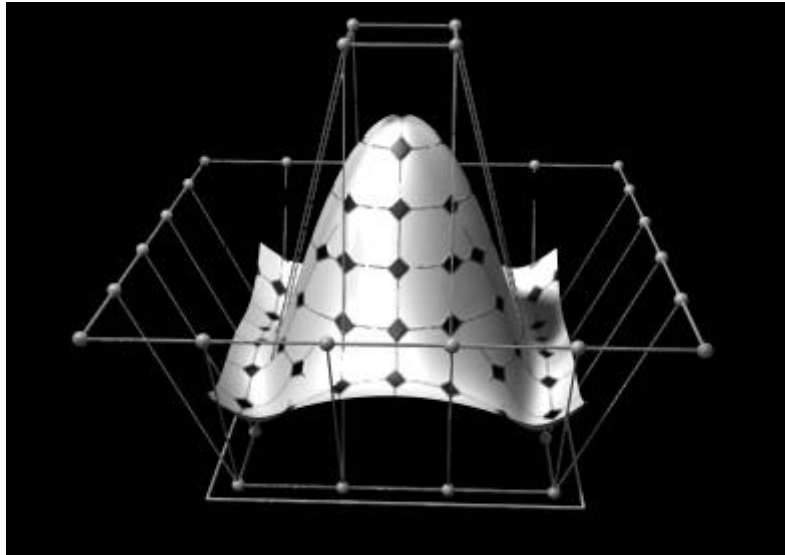


Figura 9 Superficie NURBS y sus puntos de control

3.2 Modelización del casco

Al realizar cualquier diseño utilizando Rhinoceros, hay que ser muy ordenado con el uso de las capas. Un diseño bien organizado, con un uso correcto de las capas, puede facilitar mucho el trabajo, pero un diseño que no esté bien organizado puede resultar en un trabajo muy tedioso a la hora de modelar cualquier objeto.

Así que el primer paso es abrir la herramienta de capas y crear las dos primeras capas que nos permitirán empezar con el diseño: una capa con los ejes de referencia y otra con las líneas del casco, tal y como se muestra en la *Figura 10*.

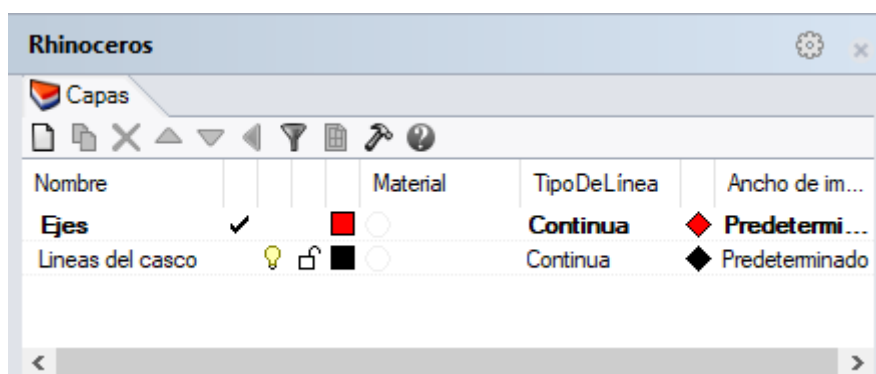


Figura 10 Editor de capas del programa Rhinoceros.

Se considera el punto 0, 0, 0 del diseño como el punto más bajo en el espejo de popa del casco. Des de ahí se dibuja una línea en la dirección Y, utilizando el comando “línea”, y se rota 14 grados utilizando el comando “rotar”. Una vez rotada se corta para que coincida con la manga del casco. A continuación, se le añade el chine, que tiene un ancho de 30 cm.

En las *Figuras 11 y 12* se muestran las vistas en perspectiva y alzado.

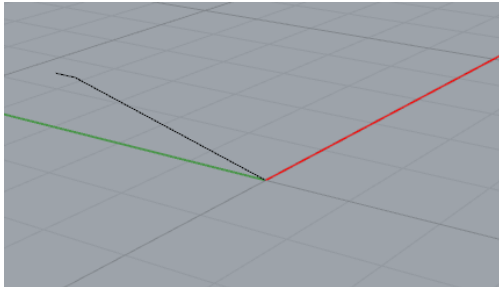


Figura 11 *Perspectiva línea de popa.*

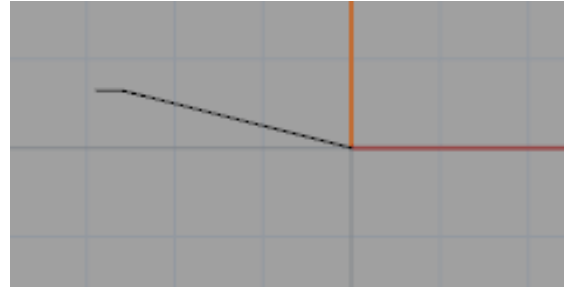


Figura 12 *Alzado línea de popa.*

A

partir de las dimensiones obtenidas anteriormente, se dibuja la carena del yate en planta, dándole una curvatura adecuada en los costados desde proa hasta popa. Se define el costado del espejo de popa y se dibuja el perfil de la carena. Lo anteriormente descrito se muestra en la *Figura 13*.

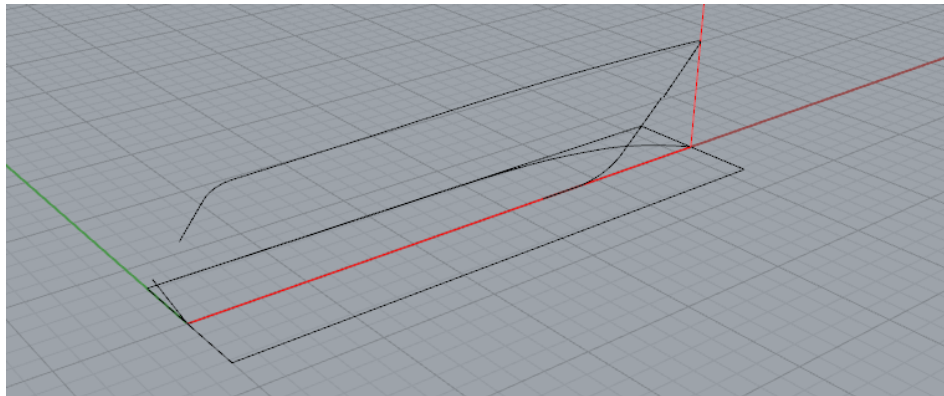


Figura 13 *Perspectiva de las líneas preliminares de la carena.*

El siguiente paso es definir cual va a ser la trayectoria del chine, así que basándose en distintos diseños existentes en el mercado se ha definido una trayectoria lo más suave posible. Primero se dibujan las proyecciones del chine en los planos horizontal y vertical y a continuación, con el comando “Curva desde 2 vistas” se modelan las curvas definitivas del chine. En la *Figura 14* y *15* se puede observar la trayectoria en perspectiva y alzado.

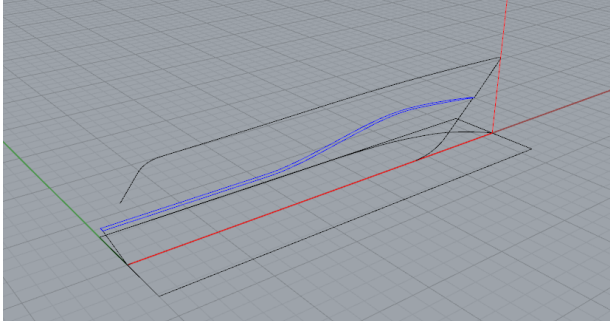


Figura 14 *Perspectiva del chine*

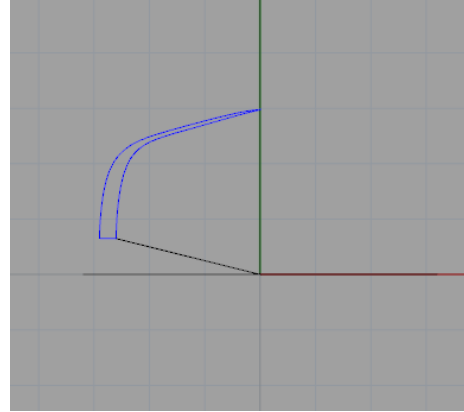


Figura 15 *Alzado del chine.*

Una vez ya han sido creadas todas las líneas que delimitan el casco, mediante los distintos comandos de creación y edición de superficies, se crean las distintas superficies que conformaran el casco. Estas van a ser tres: la superficie del fondo, la del chine y la del costado.

Una vez creadas estas superficies, únicamente estará modelado la mitad del casco. Para completarlo se realizará, mediante el comando reflejo, una copia simétrica respecto al eje X de la geometría.

Ahora sí, ya estarán todas las superficies de la carena modeladas. En las *Figuras 16* y *17* se muestran las vistas en perspectiva y alzado.

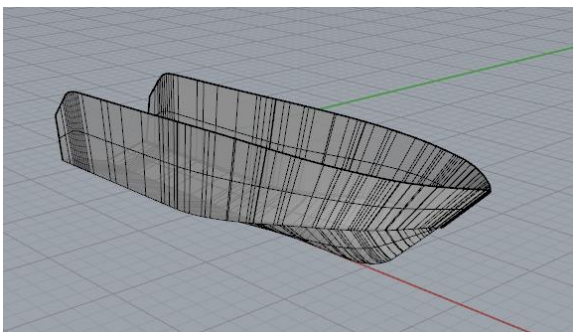


Figura 16 *Perspectiva de la carena*

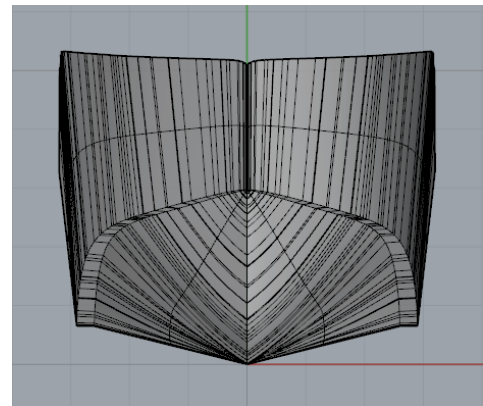


Figura 17 *Alzado de la carena*

El siguiente paso a realizar es guardar las formas del casco en un archivo IGES para así poder abrirlo en Maxsurf y realizar un ensayo hidrostático y poder determinar algunos de los coeficientes de forma de la geometría.

CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA

Una vez abierto el archivo IGES en Maxsurf, este deberá ser guardado como un archivo .msd para poder ser utilizado en todas las plataformas de Maxsurf. En la *Figura 18* se muestra el entorno de trabajo de Maxsurf Modeler y también como la geometría se ha importado correctamente.

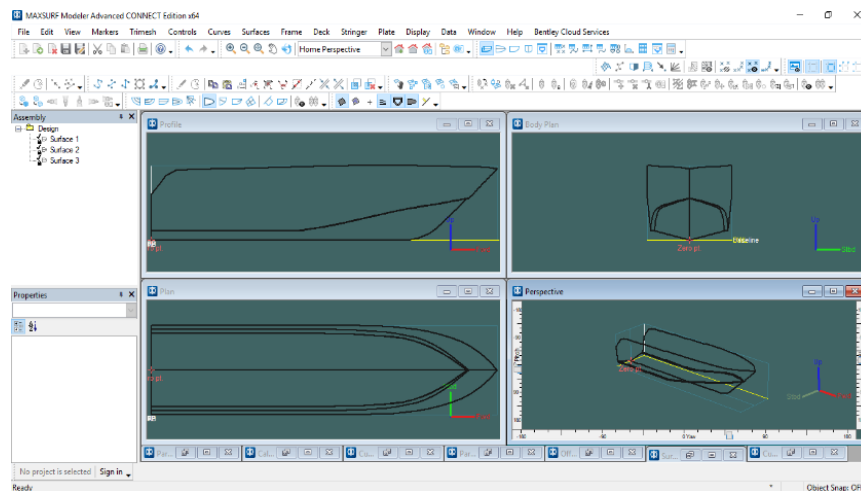


Figura 18 Geometría de la carena importada al programa Maxsurf.

Una vez la geometría ha sido importada debidamente, se deben referenciar la línea base, la eslora entre perpendiculares y su flotación. Pero para definir estos valores, debemos conocer cual debe ser la flotación del yate. Así que, para poder determinar estos datos, debemos realizar un estudio hidrostático del yate.

Este estudio hidrostático consiste en imponerle al yate un desplazamiento que ya es conocido y aplicar este desplazamiento en el 40% de la eslora de flotación, ya que ahí es donde se ha definido que va a encontrarse el centro de gravedad de la embarcación. La realización de este estudio se llevará a cabo en Maxsurf Stability.

Primero de todo, se debe crear un caso de carga nuevo el que se le llamará “estudio hidrostático”. En la tabla donde aparecen los distintos pesos, en el apartado “lightship” se le debe añadir el desplazamiento del yate y como punto de aplicación se definirá el 40% de la eslora de flotación. Como este valor aún es desconocido, vamos a definir el punto de aplicación de la carga en el 40% de la eslora total, esto viene a ser 10,4 metros. En la *Tabla 2* se muestra la distribución de la carga y en la *Tabla 3* los resultados del análisis.

Tabla 2 Caso de carga en Maxsurf.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m
1	Lightship	1	70,880	70,880			10,400
2	Total Loadcas			70,880	0,000	0,000	10,400
3	FS correction						
4	VCG fluid						

Tabla 3 Resultados en Maxsurf

Draft Amidships m	1,166
Displacement t	70,88
Heel deg	0,0
Draft at FP m	1,623
Draft at AP m	0,710
Draft at LCF m	1,112
Trim (+ve by stern) m	-0,913
WL Length m	22,328

En los resultados se puede observar que la eslora de flotación es de 22,328 metros. El peso de la carga se había impuesto en el 40% de la eslora de flotación, así que ahora se debe corregir la posición del centro

CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA

de gravedad ya que 10,4 no es el 40% de 22,328. Este va a ser un proceso cíclico hasta que finalmente la eslora de flotación deje de variar.

Finalmente, la eslora de flotación deja de variar y entonces se obtiene cual va a ser el calado de la embarcación, el trimado y la eslora de flotación. A continuación, en la *Tabla 4* Se muestra el caso de carga y en la *Tabla 5* se adjuntan los resultados del estudio hidrostático.

Tabla 4 Casco de carga en Maxsurf

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m
Lightship	1	70,880	70,880			8,733
Total Loadcas			70,880	0,000	0,000	8,733
FS correction						
VCG fluid						

Tabla 5 Resultados en Maxsurf

Draft Amidships m	1,115
Displacement t	70,88
Heel deg	0,0
Draft at FP m	1,206
Draft at AP m	1,025
Draft at LCF m	1,101
Trim (+ve by stern) m	-0,181
WL Length m	21,832

En los resultados se puede observar que la embarcación tiene un poco de trimado, pero este valor es muy pequeño y no se debe olvidar que se está suponiendo la posición del centro de gravedad, pero aún no se conoce cuál será la definitiva. Así que se considera que no vale la pena modificar las formas de la carena para conseguir un trimado de 0°.

Si el diseño hubiese tenido un trimado mayor, entonces se deberían corregir las formas y volver a repetir todo el estudio hidrostático. Se debería volver a recorrer la espiral de diseño.

3.3 Modelización de la superestructura

El siguiente paso es modelar la superestructura de la embarcación, que se apoyará encima de la cubierta. Para esto también se usará el programa Rhinoceros. El primer paso es concebir una primera idea de la forma que se le quiere dar a la superestructura, y dibujar el perfil en el programa, tal y como se muestra en la *Figura 19*.

A partir de este boceto, modelamos los alambres en 2D y 3D para a continuación crear las superficies que conformarán la superestructura. En la *Figura 20* se muestran todos los alambres que conforman el diseño.

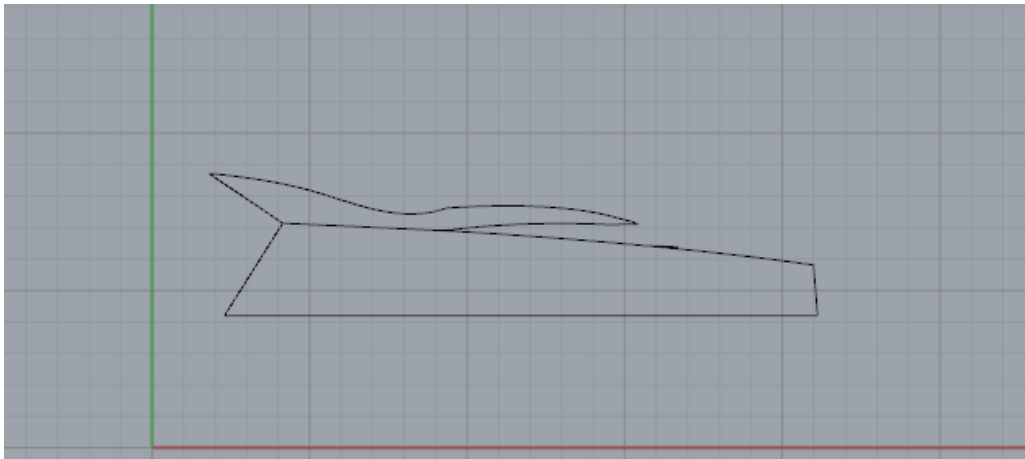


Figura 19 Alzado de la superestructura.

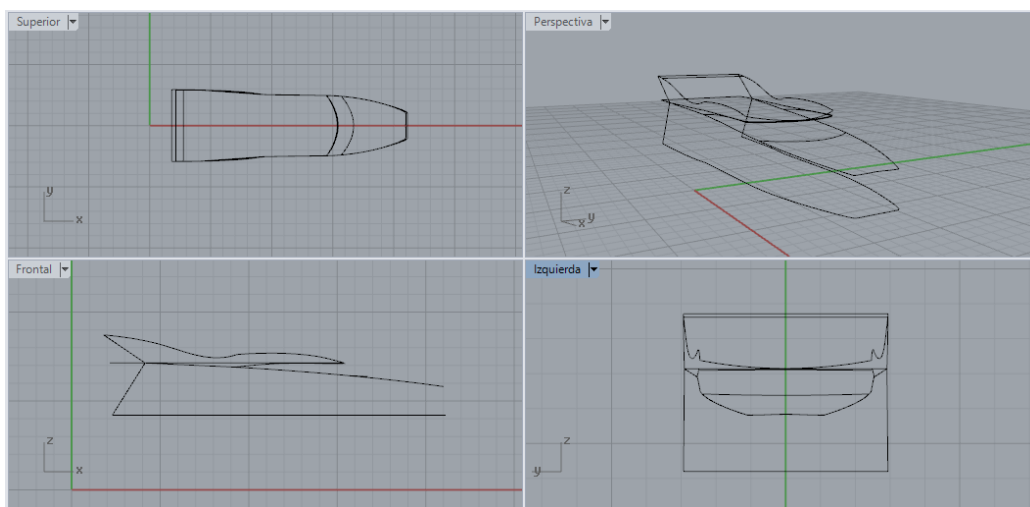


Figura 20 Alambres que conforman la superestructura.

Finalmente, solo hace falta crear las superficies. El diseño final es el que aparece en la *Figura 21*.

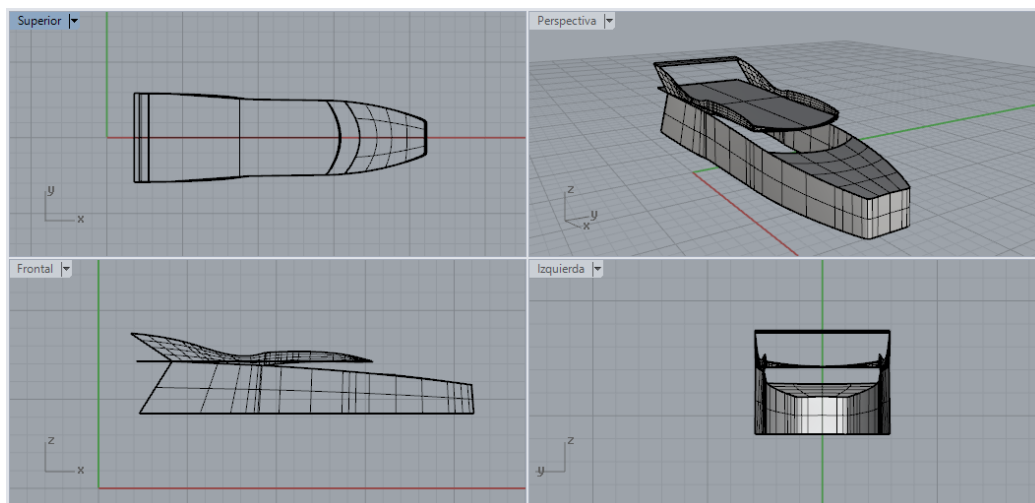


Figura 21 Superficies que forman la superestructura.

CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA

El siguiente paso es crear las cubiertas de la embarcación. La cubierta se va a encargar de unir el casco con la superestructura. Para el diseño hay que centrarse en la colocación de los bordes inferiores de la superestructura y en la regala del casco. En las *Figuras 22 y 23* se muestra como resulta la cubierta.

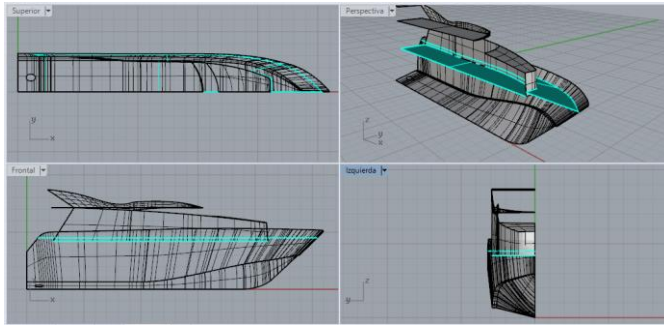


Figura 22 *Vistas de la posición de la cubierta principal.*

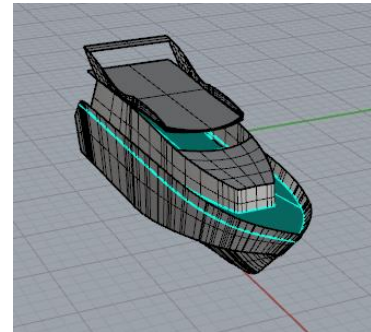


Figura 23 *Perspectiva del conjunto.*

4. Disposición de los espacios de la embarcación

Una vez se tiene el diseño del casco, la superestructura y la cubierta terminados, se procede a organizar todos los espacios dentro de la embarcación. Como se trata de un yate de lujo, es muy importante que los espacios sean grandes y cómodos, estén bien organizados y sea fácil moverse por cada uno de ellos. Es por esto que se diseñará la estructura en función de la disposición de los espacios y no al revés.

Una vez definida cual va a ser la disposición de todos los espacios ya será posible decidir cuantos mamparos colocar y en qué posición. También se deberá definir en qué altura se colocará el doble fondo. Es muy importante que todo lo nombrado anteriormente esté bien definido, para así poder diseñar la estructura de la manera más óptima.

Para este propósito, toda la distribución del yate se hará utilizando el programa Revit, un software de la casa Autodesk que permite modelar con la tecnología BIM.

4.1 BIM (Modelado con información para la construcción)

El BIM es un proceso de generación y gestión de datos del proyecto que se esté realizando utilizando un software de modelado en 3 dimensiones. Este proceso produce el modelo de información del proyecto que abarca la geometría, las relaciones espaciales, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes.

Una de las primeras empresas pionera en la aplicación de este concepto fue Graphisoft, que lo implemento con el nombre de “Virtual Building”. Más tarde, Autodesk comenzó a utilizar este concepto en el 2002, cuando compró la compañía Revit Technology Corporation por 133 millones de dólares.

Esta nueva metodología de trabajo permite coordinar con mucha facilidad los distintos procesos de diseño dentro de un proyecto. La fase arquitectónica, la del diseño de la estructura y la de la instalación y dimensionamiento de los sistemas.

4.2 Disposición de las cubiertas

Este yate, según ha sido diseñado dispone de tres niveles o cubiertas. Cada una de las cubiertas va a tener una función distinta y deben estar debidamente comunicadas entre ellas. En las *Figuras 24 y 25* se muestran los tres distintos niveles.

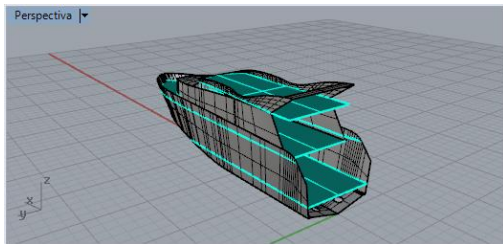


Figura 24 Perspectiva de las tres cubiertas

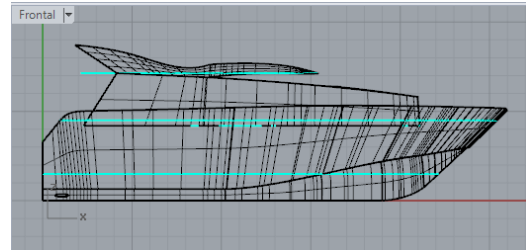


Figura 25 Alzado de las tres cubiertas

En el primer nivel, el más bajo, se ubicarán los camarotes para la tripulación, los camarotes para los pasajeros y la sala de máquinas. Cada camarote va a disponer de su propio WC.

El segundo nivel se diseñará de manera que sea el espacio principal de la embarcación, donde más tiempo van a pasar los pasajeros y desde donde se podrá acceder a los camarotes del nivel inferior. En esta cubierta se encontrará el comedor, una cocina, la sala de mando desde donde se pilotará la embarcación y otro camarote.

El tercer nivel, el más superior, será un solárium donde los pasajeros podrán relajarse y desde donde también se podrá pilotar la embarcación desde un puesto de mando auxiliar.

A continuación, se explicará cual ha sido el criterio y como se han diseñado uno a uno todos los espacios de la embarcación.

4.2.1 Disposición de la primera cubierta

En la primera cubierta de la embarcación se va a organizar el espacio para la cámara de máquinas, los camarotes de la tripulación, los camarotes de los pasajeros y los WC de cada camarote. A continuación, se muestra en la *Figura 26* cual va a ser la disposición del primer nivel y en detalle de cada espacio.

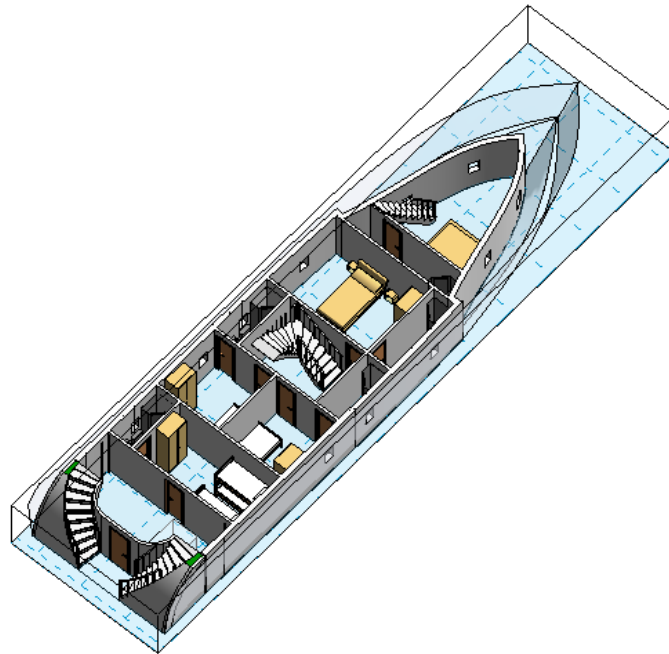


Figura 26 Distribución de la primera cubierta en Revit.

Camarote de la tripulación

En este camarote hay espacio para todos los miembros de la tripulación, en total 4. La habitación no es tan espaciosa como las habitaciones de los pasajeros y los tripulantes deberán dormir en literas, pero cuenta con su propio WC. En la *Figura 27* se muestra la disposición del camarote de la tripulación.

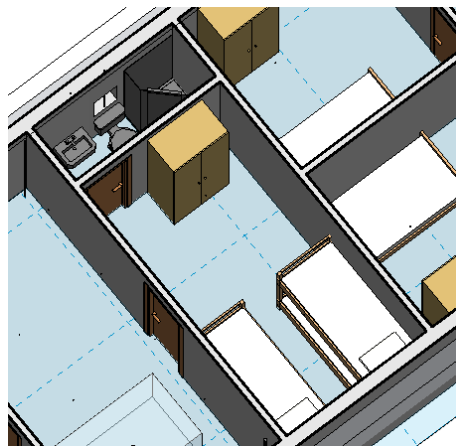


Figura 27 Camarote de la tripulación en Revit.

Camarotes pasajeros

Los camarotes para pasajeros se encuentran más alejados de la sala de máquinas y en ellos no se percibe ninguna vibración de la maquinaria del yate. En la habitación hay dos camas individuales y cada habitación dispone de su propio WC. Cada camarote y cada habitación tiene vistas al exterior. En la *Figura 28* se muestra la disposición del camarote de la tripulación.

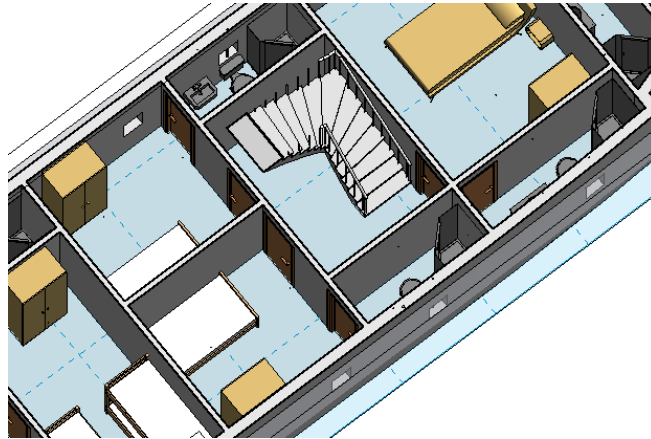


Figura 28 Distribuidor y camarotes individuales en Revit.

Estos camarotes tienen acceso directo a la escalera que conecta la primera cubierta con la segunda desde el comedor principal.

Suite número 1

Este es uno de los camarotes más espaciosos de la embarcación. Este camarote dispone de una cama doble y su lavabo propio, ambos con vistas al exterior y una excelente ventilación. También tiene acceso directo a la escalera que conecta las dos cubiertas. En la *Figura 29* se muestra la distribución de la suite número 1.

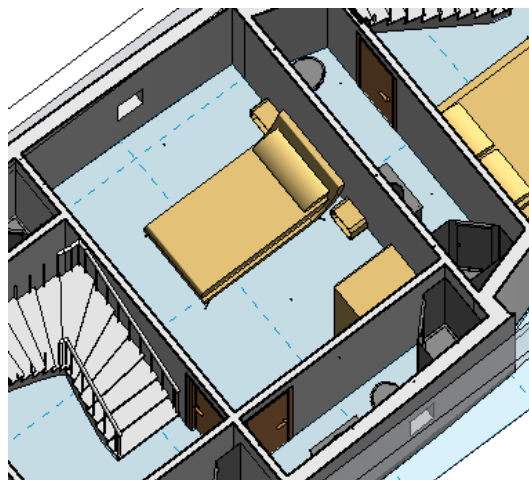


Figura 29 Suite número 1 en Revit.

Suite número 2

Esta suite se encuentra en la proa de la embarcación. Dispone de una cama doble y de un WC propio, vistas al exterior desde la habitación y desde el WC y un acceso único al camarote del segundo nivel, mejorando la intimidad tal y como se muestra en la *Figura 30*.

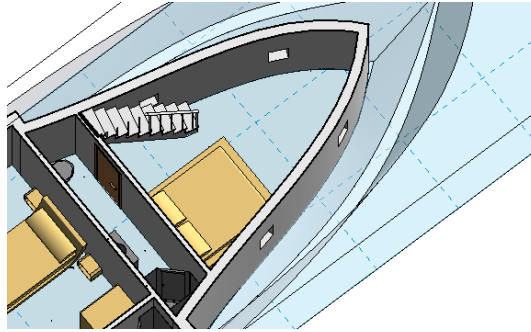


Figura 30 Suite número 2 en Revit.

4.2.2 Disposición de la segunda cubierta

La segunda cubierta va a ser el espacio que van a compartir todos los pasajeros. Dispone de una pequeña terraza en la parte trasera, el comedor, conectado a la cocina por una barra americana, los dos accesos a la cubierta inferior, unas escaleras que conectan con el solárium y la cabina desde donde se pilota el yate.

Terraza y acceso al comedor

Es la zona que se encuentra más a popa de la embarcación. Desde las escaleras que hay en popa se puede acceder a la terraza y de ahí entrar en el comedor. Como se muestra en la *Figura 31* el comedor es muy espacioso, con una mesa central y con acceso directo a la cocina. Desde él se puede acceder al solárium gracias a las escaleras situadas en el costado izquierdo o a las habitaciones usando las escaleras que bajan a la cubierta inferior.

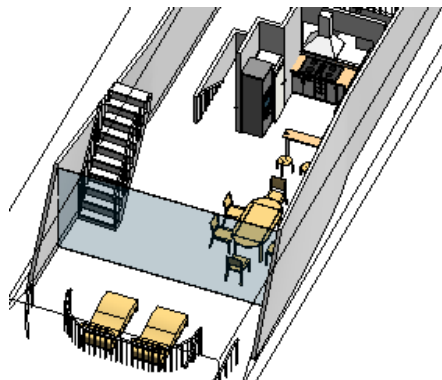


Figura 31 Terraza y comedor de la cubierta principal en Revit.

Cocina

La cocina es uno de los elementos esenciales de la embarcación. Se ha diseñado para que todos los espacios estén bien aprovechados, pero sin perder de vista la estética. Los elementos más destacables de esta zona son el fregadero, la vitrocerámica y la campana de extracción.

El fregadero se puede tapar cuando no se use. La campana de extracción se deberá diseñar para que pueda extraer todos los gases y olores. Finalmente, en lugar de fogones se ha instalado vitrocerámica para así prevenir el riesgo de incendios o de escapes de gas. Dicha distribución puede apreciarse en la *Figura 32*.

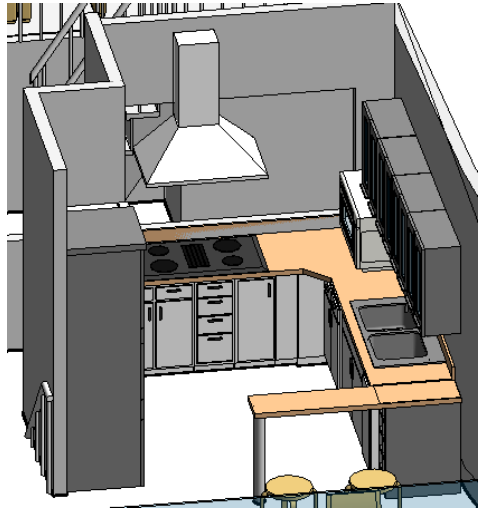


Figura 32 Cocina en Revit.

Puente de mando

En la cubierta principal se dispone de un espacio especial y apartado del comedor, pero con fácil acceso, desde donde se va a manejar la embarcación. Con unas vistas muy amplias al exterior a través de la ventana frontal de la superestructura y con un diseño que prioriza el confort y la comodidad durante la navegación. En la *Figura 33* se muestra el puente de mando.

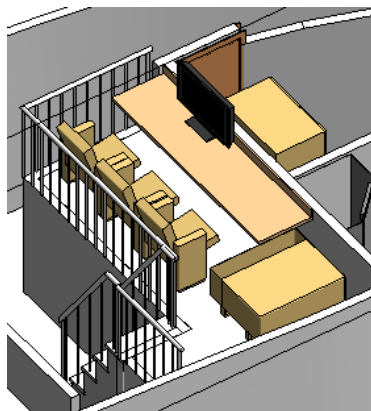


Figura 33 Puente de mando en Revit.

Camarote de proa

Este es el último camarote, con espacio para un pasajero. Situado en la proa y en la cubierta principal de la embarcación. Con una muy buena ventilación e iluminación natural. Este camarote dispone de su propio WC con lavabo, sanitario y plato de ducha.

El acceso a este camarote, tal y como se observa en la *Figura 34*, se encuentra cerca del acceso al puente de mando, al final del pasillo que conecta con el comedor de la cubierta principal.

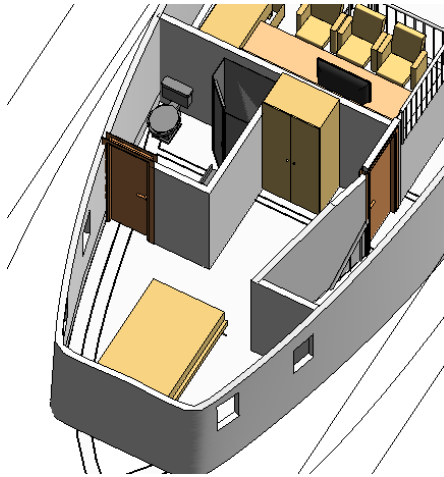


Figura 34 *Camarote individual en Revit.*

Disposición del solárium

En esta zona todos los pasajeros dispondrán de un espacio para relajarse. El solárium dispone de varias tumbonas, una barra de bar donde tomar algo, un amplio sofá y un puesto desde donde se puede pilotar la embarcación.

Se puede acceder al solárium desde la cubierta principal a través de las escaleras laterales ubicadas a babor. Se muestra la distribución del solárium en la *Figura 35*.

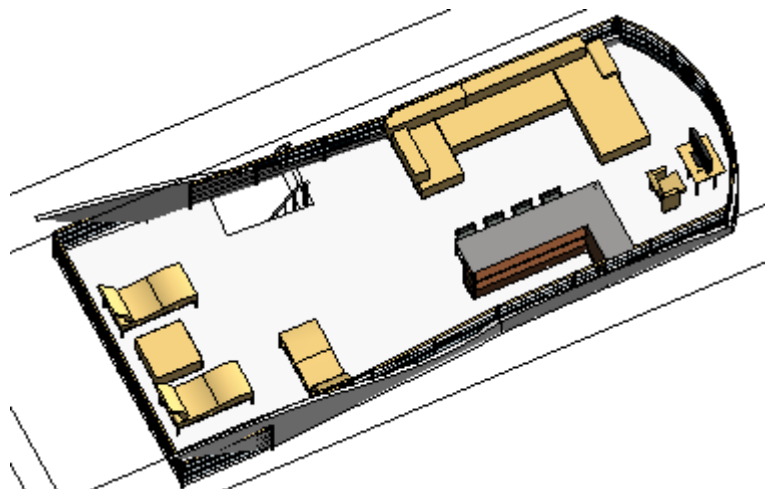


Figura 35 *Solárium en Revit.*

5. Diseño de la estructura

En este apartado se procederá a diseñar la estructura de la embarcación. La estructura que se va a diseñar va a ser del tipo longitudinal. Una vez proyectada, se prepararán las superficies para que estas puedan ser analizadas en el programa de cálculo por elementos finitos Ramseries.

Para realizar este cálculo estructural, se deben conocer cuáles van a ser las presiones que actuarán sobre el casco, estas presiones se calcularán más adelante. También se debe tener en cuenta cual va a ser el peso del motor y la presión que este va a ejercer en la bancada debido a su peso y al empuje que va a generar.

5.1. Estructura del casco

Como anteriormente se han proyectado todos los espacios de la embarcación, ahora se puede proceder a la colocación de los mamparos y los anillos. Es muy importante que los mamparos sean estancos, esto quiere decir que no pueden ser atravesados por elementos que no sean estructurales, como por ejemplo puertas. En caso contrario, en ese punto de la sección deberá colocarse un anillo. En las Figuras 36 y 37 se muestra cual va a ser la disposición de los mamparos.

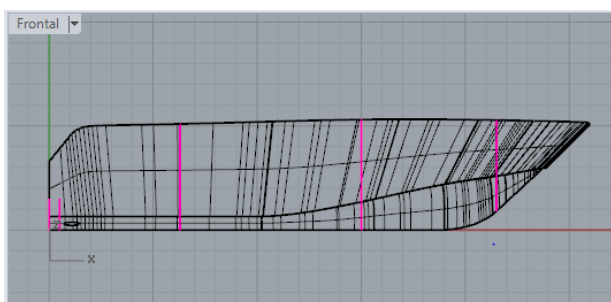


Figura 37 Alzado de la distribución de los mamparos.

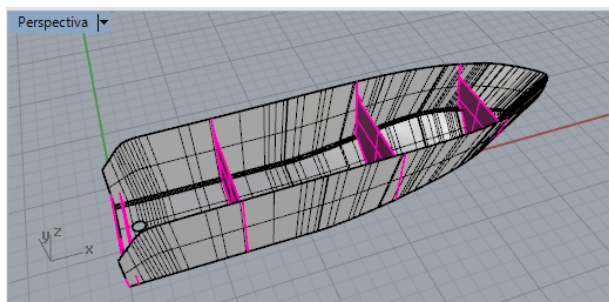


Figura 36 Perspectiva de la disposición de los mamparos.

Una vez colocados los mamparos, se deben reforzar los espacios entre ellos con anillos. El hecho de colocar anillos va a permitir que el espacio interior sea transitable. Es por esto que la colocación de los anillos no afecta a la disposición de los espacios proyectados anteriormente. En las Figuras 38 y 39 se muestra la disposición de la estructura transversal.

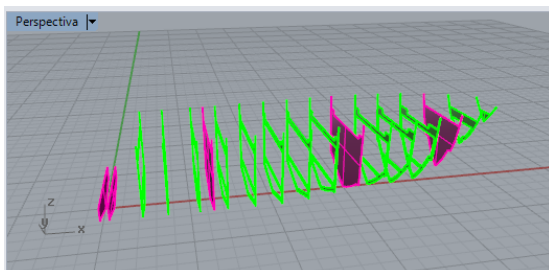


Figura 38 Perspectiva de los anillos y mamparos.

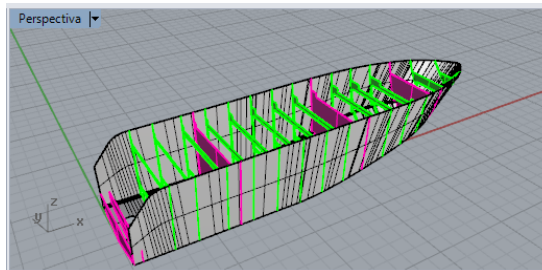


Figura 39 Perspectiva de los anillos y mamparos con el casco.

Una vez definida como se va a componer la estructura transversal, se debe definir cómo será la estructura longitudinal. Para esto, se van a disponer refuerzos longitudinales contenidos en distintos planos, todos ellos paralelos a la línea de flotación. La estructura longitudinal va a estar compuesta por tres tipos de elementos: una quilla, los refuerzos primarios y los refuerzos secundarios.

La quilla es una viga longitudinal, que recorre toda la eslora del yate, con una sección en forma de T. Los refuerzos primarios son también vigas con sección en T, pero de menor tamaño y espesor que la quilla y finalmente los refuerzos secundarios son vigas con sección en forma de L con un tamaño menor que el de los refuerzos primarios.

En la *Figura 40* se muestra como están dispuestos los refuerzos longitudinales a lo largo del casco.

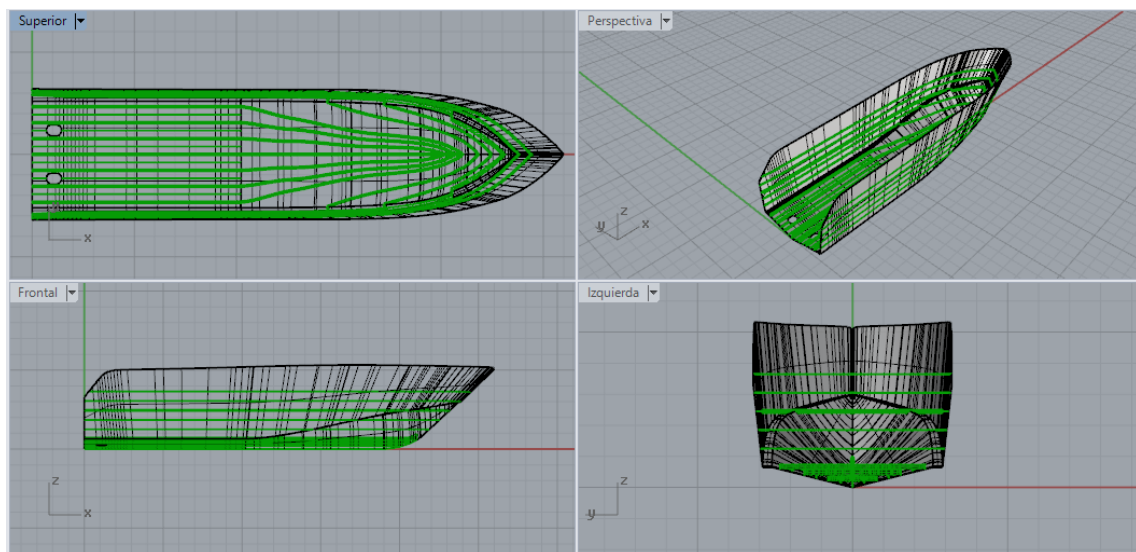


Figura 40 Distribución de los refuerzos longitudinales.

En las *Figuras 41 y 42* se muestra la estructura del casco al completo, con todas las uniones entre casco, mamparos, anillos y refuerzos longitudinales. Esta va a ser la estructura que deberá soportar todas las presiones del mar.

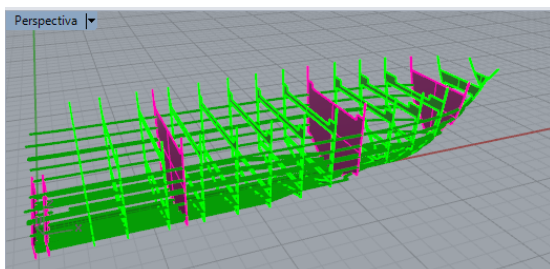


Figura 41 Perspectiva de los refuerzos, los anillos y los mamparos.

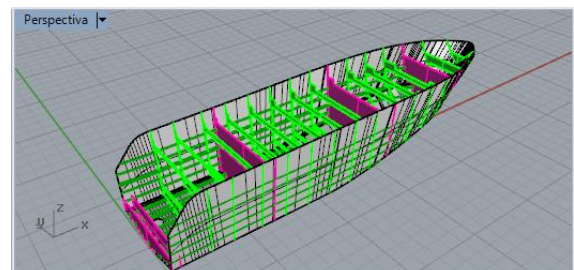


Figura 42 Perspectiva de los refuerzos, los anillos y los mamparos con el casco.

5.2. Estructura de las cubiertas

Los espacios del yate se han dispuesto en tres niveles distintos tal y como se ha expuesto anteriormente. Dos de las cubiertas van a encontrarse dentro del casco, y la tercera cubierta se encontrará encima de la superestructura. A continuación, en las *Figuras 43 y 44*, se muestra la ubicación de las dos cubiertas interiores y los refuerzos que forman parte de su estructura.

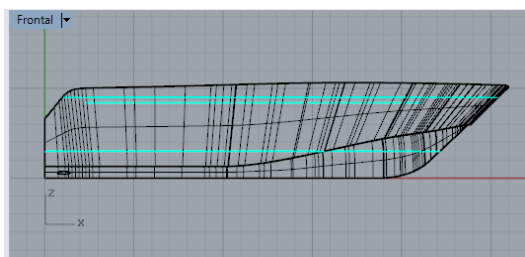


Figura 43 Alzado de la distribución de las cubiertas

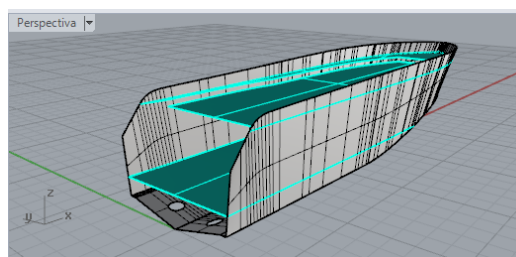


Figura 44 Perspectiva de la distribución de las cubiertas.

La estructura de las dos cubiertas está formada por refuerzos principales con sección en forma de T y con refuerzos secundarios con sección en forma de L. Los refuerzos son idénticos a los refuerzos primarios y secundarios del casco. La estructura que va a rigidizar la cubierta superior va a ser la propia estructura de la superestructura del yate.

Estas cubiertas no van a formar parte de los elementos estructurales del casco, pues no se van a tener en cuenta en el momento de realizar el análisis mediante elementos finitos. Únicamente van a tener que soportar el peso de todo el mobiliario que se encuentre apoyado en ellas.

En la *Figura 45* se muestra cómo se proyectan los refuerzos longitudinales de las dos cubiertas.

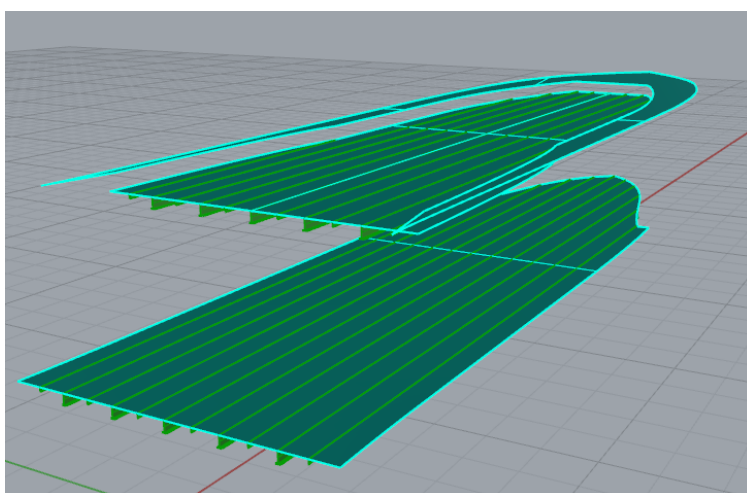


Figura 45 Disposición de los refuerzos longitudinales de las cubiertas.

Finalmente, toda la estructura del casco y cubiertas resulta tal y como se muestra en la *Figura 46*.

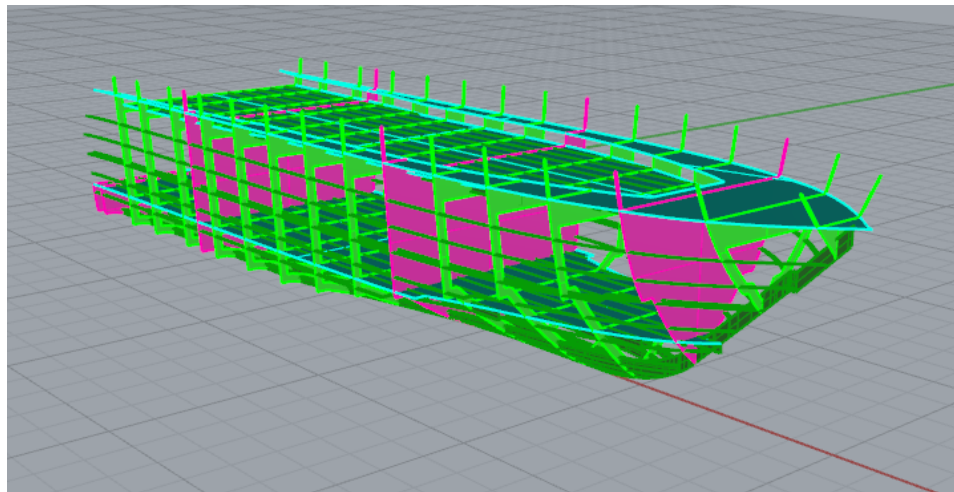


Figura 46 Perspectiva de la totalidad de los refuerzos del casco y cubiertas.

5.3. Estructura de la superestructura

A continuación, solo falta por dimensionar la estructura de la superestructura. Las cargas de la superestructura van a ser mucho menores que las del casco, ya que no está sometida a ninguna fuerza que no sea el peso de los elementos que debe soportar y la carga del viento. Por lo tanto, la estructura puede ser bastante más ligera que la del casco.

Los elementos que la constituyen son unos refuerzos primarios con sección en forma de T donde se apoyaran las planchas que constituyen la superestructura. La única zona que deberá estar más reforzada va a ser la cubierta superior, donde se ubicará el solárium. En las *Figuras 47 y 48* se muestra cómo se ha diseñado la estructura.

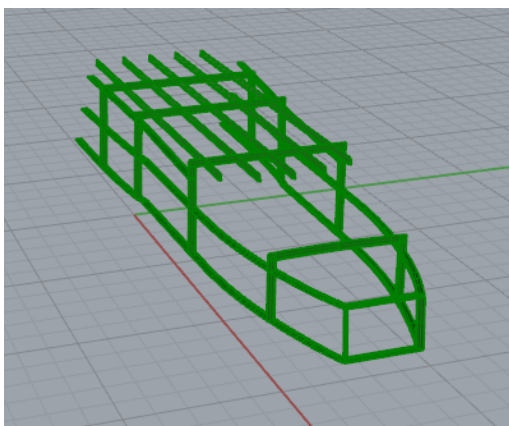


Figura 47 Refuerzos de la superestructura.

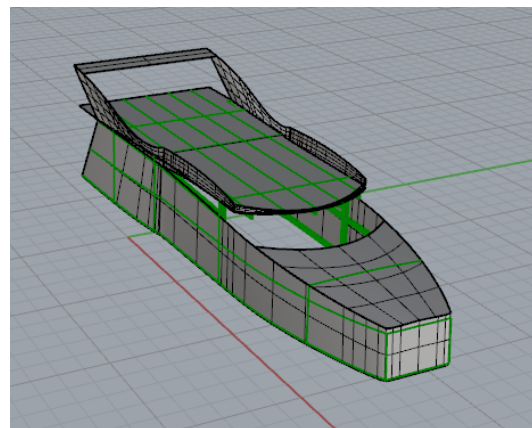


Figura 48 Superestructura con refuerzos.

6. Preparación de la geometría

La primera fase para realizar un estudio con elementos finitos es la tediosa tarea de modificar el diseño realizado en Rhinoceros. A continuación, se muestra todo el proceso para preparar el casco y todos los componentes que lo componen, para ello es necesario transformar todas las superficies existentes en otras de nuevas.

6.1. Corrección de las superficies

Para crear las superficies del nuevo diseño, se parte de lo que está reglamentado en la norma, esto es dividir toda la estructura en paneles de fondo, costado y cubierta. Se define el fondo como la obra viva, el costado como la parte del casco que no forma parte del fondo y la cubierta como la parte que se encuentra en la intemperie y por la que se puede caminar.

Una vez se han definido estas tres zonas, van a tener que ser divididas en distintos paneles delimitados por los refuerzos longitudinales, los mamparos y los refuerzos transversales.

Para preparar todas estas superficies, se usa el programa Rhinoceros y una vez creadas, se realizarán las reparaciones requeridas.

Casco

El primer paso es generar todas las intersecciones entre los distintos refuerzos para generar una estructura de alambres que nos definirán cuales van a ser los paneles de fondo y cuales los de costado. Para poder definirlos, también se generará la intersección de la línea de flotación, para un calado de 1,1 metros, con todos los elementos estructurales.

Las uniones de todos los paneles conformaran las superficies del casco, que no será distinta a la creada anteriormente, la única diferencia va a ser que las superficies se habrán creado de manera distinta.

El motivo por el que se realiza este remodelado es que el programa Ramseries, que va a usarse más adelante, no es capaz de unir correctamente las superficies de los refuerzos con la del casco, porque no comparten bordes de superficie. Esto provoca errores en los cálculos y resultados que pueden no ser reales.

En la *Figura 49* se muestra la estructura de alambres creada a partir de la intersección de todos los elementos estructurales y la línea de flotación.

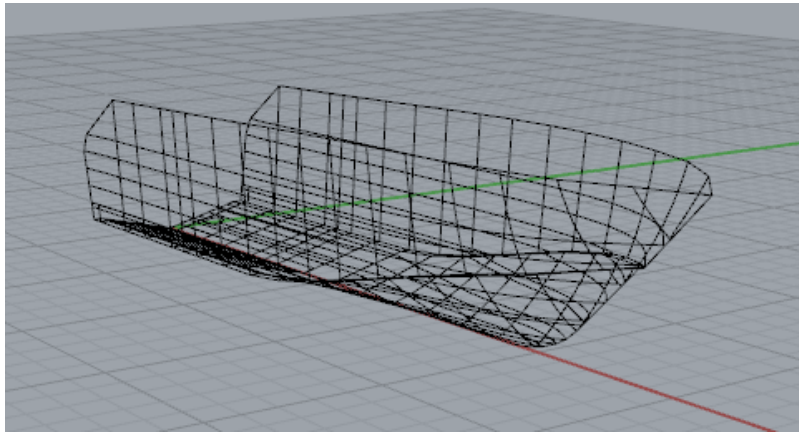


Figura 49 Alambres generados a partir de la intersección de los elementos estructurales entre sí, y la línea de flotación.

Estas intersecciones son las que definen las dimensiones de los paneles. Así que volviendo a crear las superficies se vuelve a crear el mismo casco, pero con la superficie definida de manera distinta. En la *Figura 50* se muestra la nueva superficie.

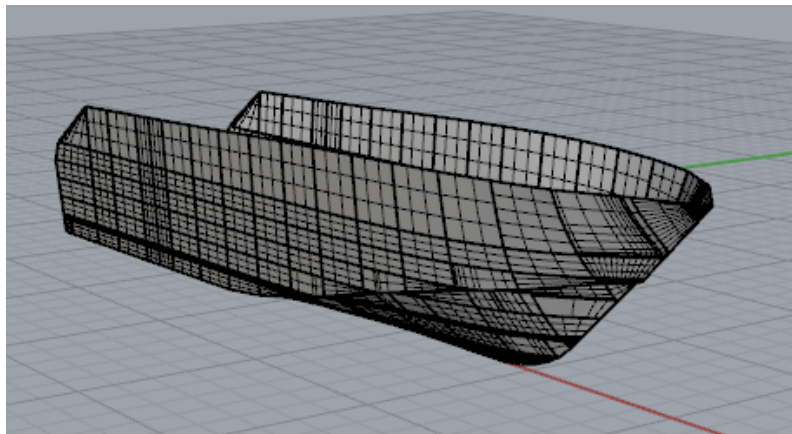


Figura 50 Casco creado a partir de los alambres.

Finalmente se obtiene la superficie final, con todos los paneles definidos a partir de su posición en paneles de fondo y de costado. En la *Figura 51* se muestran los dos tipos de paneles.

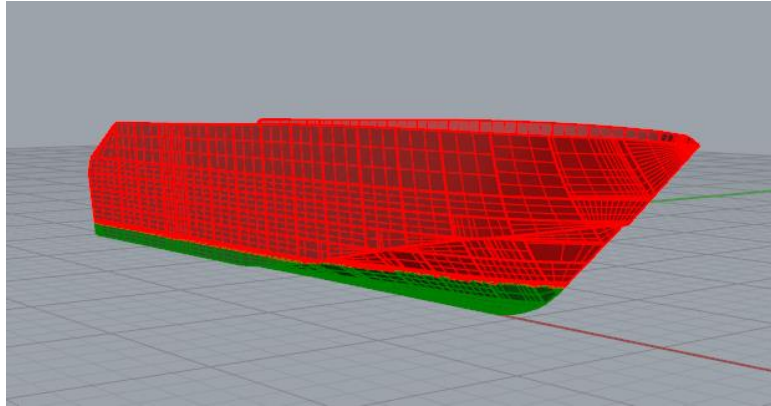


Figura 51 *En rojo la obra muerta, en verde la obra viva del casco.*

Este es el resultado final del remodelado. Ahora va a ser posible realizar todo el análisis sin problemas ya que el programa va a ser capaz de entender el diseño correctamente.

7. Cálculo del espesor de las planchas mediante la teoría clásica de placas

Una vez diseñado todo el casco y la estructura que va a sostenerlo, el siguiente paso es determinar cual va a ser el espesor de las planchas, para más tarde realizar un análisis por elementos finitos y verificar que el espesor es el adecuado.

Para ello, mediante la teoría clásica de la placa plana, verificaremos que la deformación en las planchas de aluminio es la deseada para el caso más extremo de carga. Pero para esto, primero se debe definir el espesor de la plancha a calcular. Es un proceso en el que se escoge un espesor y se verifica que dicho espesor sea el suficiente.

Llegados a este punto, se podría proceder a calcular la deformación con cualquier espesor, pero para ahorrar tiempo y cálculos, se va a partir de unos espesores calculados previamente mediante la normativa de la sociedad de clasificación DNV-GL. En la *Figura 52* se muestra cuáles son los espesores calculados para las planchas de fondo, costado y cubierta.

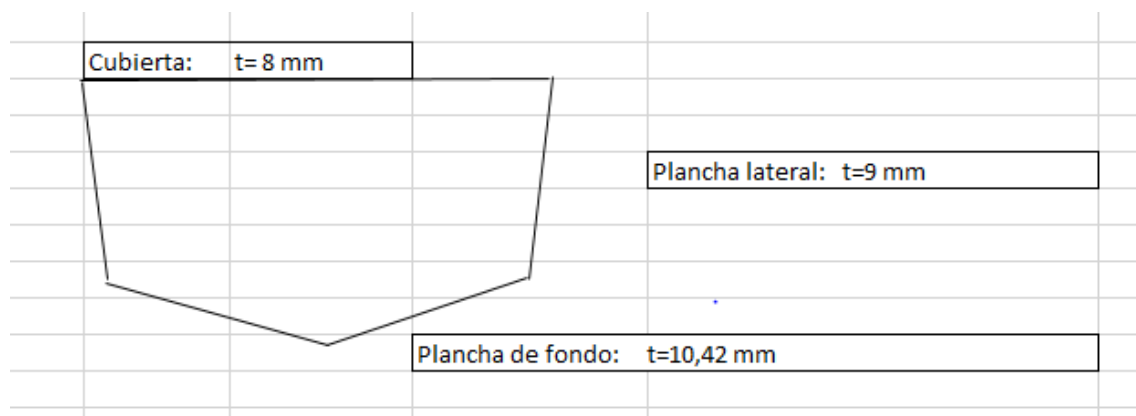


Figura 52 Espesores determinados según DNV-GL.

Todos los cálculos se han realizado según la normativa Yachts (RU-YACHT)- PART 3: HULL-CHAPTER 3 & CHAPTER 4.

A continuación, se aplica el método de análisis de Navier, que se desarrolla de la siguiente manera para el cálculo de la presión en una placa plana con apoyos simples en todos sus costados:

$$p(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} p_{nm} * \sin\left(\frac{n * \pi * x}{a}\right) * \sin\left(\frac{m * \pi * y}{b}\right)$$

Dónde:

$$p_{nm} = \frac{4}{ab} \int_0^a \int_0^b p(x, y) * \sin\left(\frac{n * \pi * x}{a}\right) * \sin\left(\frac{m * \pi * y}{b}\right) dx dy$$

Distribuyendo uniformemente la carga a lo largo de todas las dimensiones de la placa se puede obtener el desplazamiento vertical w :

$$w = \frac{16 * q_0}{\pi^6 * D} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin\frac{n * \pi * x}{a} \sin\frac{m * \pi * y}{b}}{mn \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^2}$$

Donde:

$$q_0 = \text{carga máxima}$$

$$D = \text{módulo de rigidez} = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$$

7.1. Cálculo de las presiones mediante un programa CFD

Para poder definir las cargas que se aplicaran a las planchas de aluminio se deben calcular las presiones del casco. Estas presiones son del tipo hidrostáticas e hidrodinámicas. Al tratarse de una embarcación que no entrará en régimen de planeo, es decir será una embarcación de desplazamiento, las presiones hidrodinámicas deberían ser despreciables en comparación con las hidrostáticas.

En esta sección se pretende demostrar lo explicado anteriormente mediante un análisis CFD de la geometría del casco. El resultado de las presiones obtenido en este análisis debe ser muy parecido al valor de la presión hidrostática.

El primer paso a realizar es definir un volumen de control suficientemente grande. Si el volumen de control es muy pequeño, esto puede afectar al comportamiento del fluido y alterar los resultados.

Para realizar este análisis se trabajará con la simetría del casco, ya que así los cálculos serán más sencillos y rápidos. En la *Figura 53* se muestra como se ha definido la geometría del casco y el volumen de control.

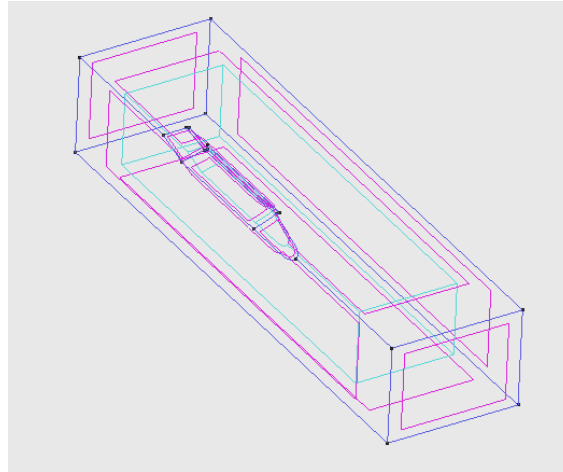


Figura 53 Superficie del casco y volumen de control.

Se puede observar que en la popa de la embarcación se ha añadido una “extensión” de esta. Esto es debido a que las embarcaciones que tienen una popa que acaba de manera repentina, cuando se realizan análisis CFD, en esa zona aparecen presiones que no son reales. Con esta prolongación de la popa se pretende simular la ola que se generaría en la popa, para que así el análisis sea más real.

Una vez definidas todas las condiciones de contorno del problema, el tipo de fluido y el campo de velocidades (10,8 m/s en la dirección del eje X) se realiza un mallado de toda la geometría. En la *Figura 54* se muestra el mallado con la cantidad de nodos y elementos que lo componen.

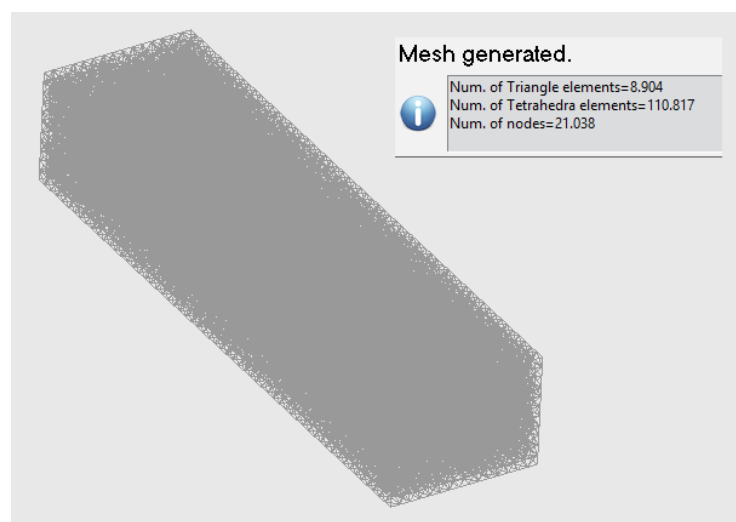


Figura 54 Mallado con su propia información de malla.

Finalmente, una vez realizado el mallado ya se puede proceder a calcular. Los resultados que en este caso son de importancia son las velocidades y las presiones generadas en el casco.

En la *Figura 55* se puede observar como varía la velocidad del fluido al encontrarse con el casco de la embarcación.

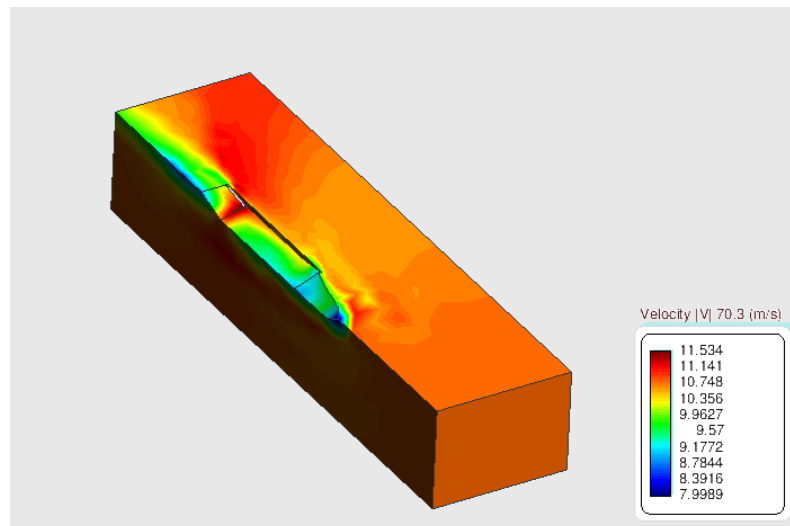


Figura 55 Velocidades del fluido.

De las velocidades obtenidas anteriormente, se calculan las presiones totales en el casco de la embarcación, que deberán ser muy similares a las hidrostáticas. En la *Figura 56* se muestra el campo de presiones.

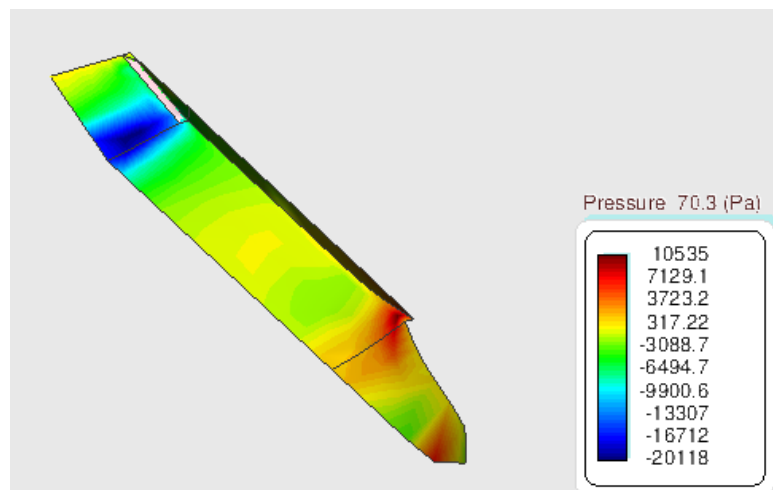


Figura 56 Campo de presiones en el casco.

Se puede observar que los puntos donde la presión es máxima es en la proa y en el chine del casco y estos valores no superan los 10535 Pascales. Las presiones que aparecen en la extensión de la popa no deben tenerse en cuenta por lo explicado anteriormente.

De este estudio, se puede concluir que las presiones hidrodinámicas son despreciables en comparación con las presiones hidrostáticas.

7.2. Cálculo de las planchas de fondo

Se ha demostrado que la presión $p(x, y)$ depende únicamente del calado, ya que se toma únicamente la presión hidrostática, la expresión entonces queda:

$$p(y) = \rho g y$$

Y para un calado de 1,1 metros:

$$p(1,1) = 1025 * 9,8 * 1,1 = 11049,5 \text{ Pa}$$

Como los espesores de la plancha serán continuos (el espesor no variará en todas las planchas de fondo) se ha simplificado el cálculo suponiendo que la presión será la calculada anteriormente en toda la superficie de la plancha. Debido a esta suposición, las deformaciones obtenidas con los cálculos van a ser mayores que las que realmente se van a producir.

En la *Figura 57* se muestra como es la distribución real de la presión y como se ha supuesto que esta va a ser para simplificar el cálculo.

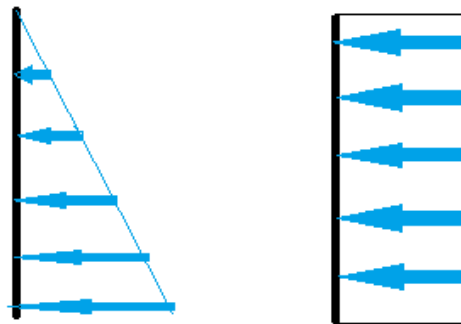


Figura 57 Distribución de las presiones sobre una placa vertical.

Para las planchas de fondo, con un espesor de 11 mm y al trabajar con aluminio, el cálculo del módulo de rigidez resulta:

$$D = \frac{7e10 * 0,011^3}{12(1 - 0,35^2)} = 6647,673 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$$

Con lo que la deformación máxima, que se va a dar en el centro de la plancha, tiene un valor de:

$$w = 0,004 \text{ metros}$$

Se considera que una deformación de 4 milímetros es más que aceptable, teniendo en cuenta que debido a la suposición del cálculo de la carga que se ha hecho anteriormente, esta deformación será aún más pequeña.

7.3. Cálculo de las planchas de costado

Para el cálculo de las planchas del costado, es necesario volver a calcular la presión en el calado correspondiente y se procederá de la misma manera que en el caso anterior.

El calado máximo de las planchas de costado es de 0,648 metros. La presión en este punto se calcula:

$$p(0,648) = 1025 * 9,8 * 0,648 = 6509,16 \text{ Pa}$$

De igual manera que en el caso anterior, se va a suponer que la presión se mantendrá constante en toda la placa, sin variar su valor a medida que disminuye el calado. Esto provocará, al igual que en cálculo anterior, que los desplazamientos calculados sean mayores que los reales, ya que la condición de carga es más crítica.

Para las placas de costado, con un espesor de 9 mm y al trabajar con aluminio, el módulo de rigidez resulta:

$$D = \frac{7e10 * 0,009^3}{12(1 - 0,35^2)} = 4846,153 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$$

Con lo que la deformación máxima, que se va a dar en el centro de la plancha, tiene un valor de:

$$w = 0,0043 \text{ metros}$$

Al igual que en el caso anterior de las placas de fondo, se considera que esta deformación es aceptable para la seguridad de la embarcación.

8. Análisis mediante elementos finitos

En este apartado se realizará el análisis de la embarcación mediante el método de los elementos finitos.

8.1. Introducción

El método de los elementos finitos permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo o una estructura en el que se definen unas ciertas ecuaciones diferenciales que caracterizan el comportamiento físico del problema. El cuerpo o estructura se divide en un número elevado de subdominios, llamados “elementos finitos”. Todo el conjunto de elementos finitos forma una discretización del modelo. Dentro de cada elemento finito, se distinguen una serie de puntos representativos que reciben el nombre de “nodos”. La unión de estos nodos define el elemento finito. Si dos nodos pertenecen el mismo elemento finito se dice que son adyacentes. Todo el conjunto de nodos que discretizan un modelo se le llama “malla”. En la *Figura 58* se muestra la discretización de un modelo.

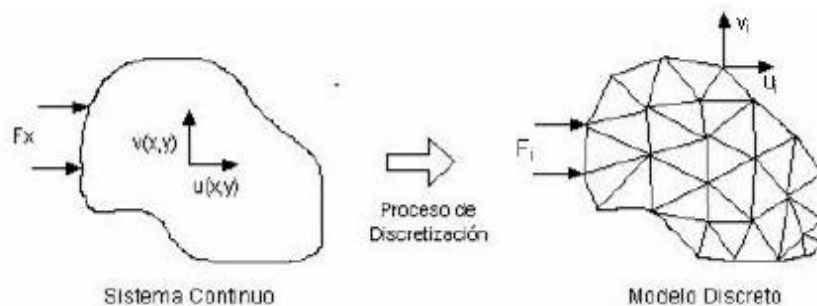


Figura 58 Discretización de un modelo continuo.

Todos los cálculos se realizan sobre esta malla que discretiza el modelo a analizar en elementos finitos. Para generar una malla se usan programas especiales que se llaman generadores de mallas en una etapa anterior a los cálculos a la que se le llama pre-proceso. De acuerdo con las relaciones de adyacencia o conectividad de los nodos se relaciona el valor de un conjunto de variables definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad.

El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de ecuaciones lineales. La matriz de este sistema de ecuaciones recibe el nombre de rigidez del sistema y el número de ecuaciones es proporcional al número de nodos de la malla.

Usualmente, el método de los elementos finitos se programa computacionalmente para poder calcular el campo de desplazamientos y a través de relaciones cinemáticas y constitutivas calcular posteriormente las deformaciones y tensiones.

El método de los elementos finitos es muy usado debido a su gran generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos. A partir del diseño de un modelo en 3 dimensiones, se puede generar una simulación para ver como éste se va a comportar bajo unas determinadas condiciones de carga y de contorno.

Este método también es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones o de campo electromagnético. Debido a la imposibilidad de resolver estos problemas analíticamente, se recurre a esta única alternativa práctica de cálculo.

8.1.1. Pre-proceso y generación de la malla (GID)

La malla se genera y consta de miles, a veces centenares de miles de puntos. La información sobre las propiedades del material y otras características del problema se almacenan conjuntamente con la malla. Por otro lado, las fuerzas se asignan a los puntos de la malla. A cada nodo de la malla se le asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de tensión mecánica o alguna otra propiedad. Normalmente, en las zonas donde se van a dar unas tensiones mayores habrá más densidad de puntos que en las zonas en las que las tensiones son menores. Estas regiones pueden ser en puntos de fractura previamente probados del material, esquinas y detalles complejos.

Las tareas que se realizan durante el pre-proceso son:

- El modelo continuo se divide mediante líneas imaginarias en un número de elementos finitos. Esta parte se realiza mediante algoritmos en programas informáticos de mallado.
- Todos los elementos están conectados entre sí mediante un número de nodos que se sitúan en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos van a ser las incógnitas del problema.
- Se definen las funciones que determinan el campo de desplazamientos de cada elemento finito en función de los desplazamientos de cada nodo.
- Estas funciones de desplazamientos definirán el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos de los nodos. Estas deformaciones definirán las tensiones en todo el elemento en función de las propiedades del material.

8.1.2. Cálculo y resolución de sistemas de ecuaciones (Ramseries)

En un problema mecánico lineal que no depende del tiempo, como podría ser un problema de análisis estructural estático, el cálculo se reduce a obtener los desplazamientos en los nodos y, a partir de esta información, definir aproximadamente cual va a ser el campo de desplazamientos en el elemento finito.

8.1.3. Post-proceso (Ramseries)

El método por elementos finitos es utilizado para resolver problemas tan complejos que los ficheros que se generan tienen una cantidad de datos tan grandes que para poder interpretarlos es necesario procesarlos de alguna otra manera que los haga más comprensibles.

En esta etapa del post-proceso, los resultados obtenidos de la resolución del sistema de ecuaciones planteado son tratados para que puedan ser representados de manera gráfica y así poder extraer conclusiones claras del problema.

El post-proceso del método de elementos finitos requiere de un software adicional para poder organizar los datos de salida. De este modo, es más fácil interpretar los resultados y decidir si los resultados obtenidos del problema son o no aceptables. En el post-proceso del cálculo de estructuras también se pueden incluir comprobaciones adicionales de si una estructura cumple con los requisitos de las normativas pertinentes, si se sobrepasan las tensiones admisibles o si existe la posibilidad de que una estructura pandee.

8.2. Cálculo de la estructura del casco

La primera parte que se va a analizar mediante elementos finitos va a ser el casco del yate. Es muy importante que toda la estructura esté unida y todas las superficies conectadas entre ellas para que la estructura se pueda analizar correctamente.

Una vez esto ya se ha comprobado, se debe estudiar cual es la dirección normal de cada una de las superficies. Es muy importante que las direcciones de las normales tengan concordancia para que así el espesor de las planchas se genere en un mismo sentido para todo el conjunto. Se deben definir todas las normales en la dirección en la que las planchas obtendrán el espesor.

Todas las superficies tienen su normal definida según como haya sido construida la superficie, pero siempre se puede modificar esta dirección. En las *Figuras 59 y 60* se muestra cómo se orientan los sentidos de las normales.

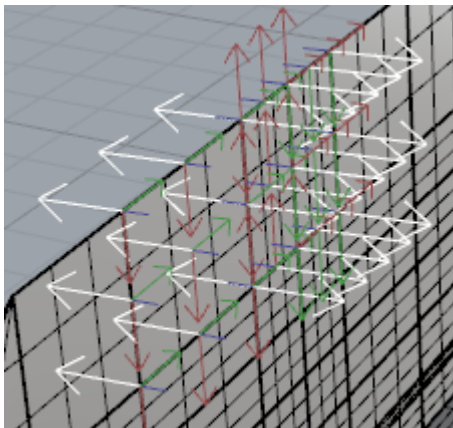


Figura 59 Normales en sentidos opuestos

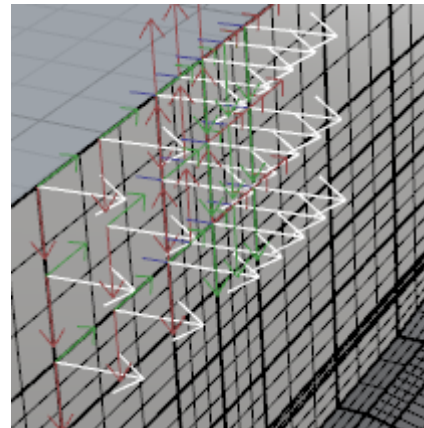


Figura 60 Normales en el mismo sentido

Este procedimiento se puede llevar a cabo utilizando cualquier programa de los que se han utilizado. Cada uno tiene su propia interfaz propia por lo que se puede hacer con el que resulte más fácil.

Definiendo el sentido del vector normal de la superficie se define el sentido en el que las planchas ganarán espesor. Es por esto que se definen todas las normales del casco hacia el interior del yate.

Una vez realizado todos los cambios se debe exportar el modelo en formato IGES (Initial Graphics Exchange Specification) que permite el intercambio de archivos entre sistemas de diseño asistido por computadora CAD.

8.2.1. Caracterización del problema

El siguiente paso es abrir el programa Ramseries y configurar las opciones dependiendo del problema que se quiere resolver. En nuestro caso estas opciones se muestran en la *Figura 61*.

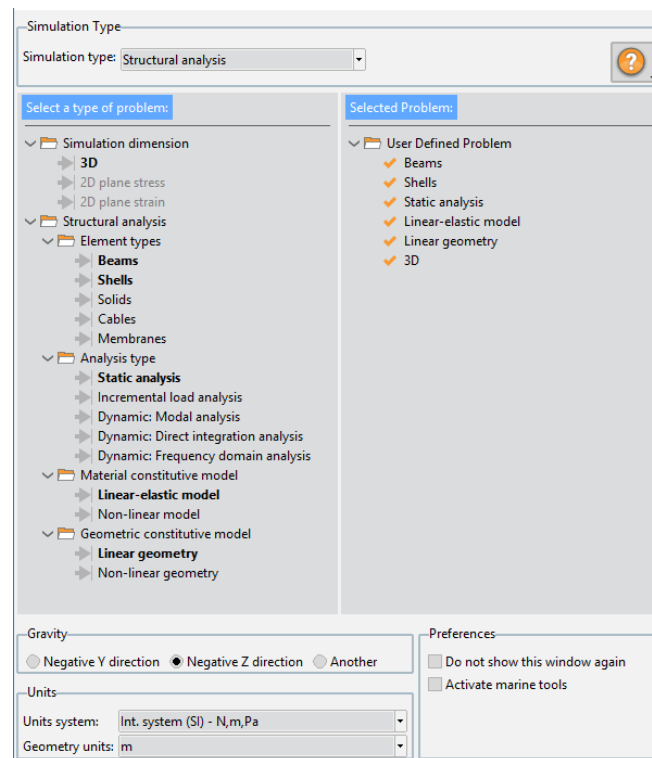


Figura 61 Menú de selección de características del problema en Tdyn.

Se trata de un problema en 3 dimensiones, por lo que se debe escoger esa opción. Los elementos modelados son vigas y planchas, por lo que también se escogerán “Beams” y “Shells”. El tipo de análisis es estático, ya que el modelo a analizar no está en movimiento. Finalmente, se supone que los materiales no tienen un comportamiento elastoplástico.

Como la geometría modelada en Rhinoceros ha sido hecha en metros, estas ahora también deben ser las unidades seleccionadas.

8.2.2. Importación de la geometría.

El siguiente paso ya es importar la geometría del modelo, pero antes debemos entrar en Utilidades – Preferencias – Intercambio para indicar el valor de la tolerancia. Es muy importante que la tolerancia sea la misma que la que se usó al modelar todas las superficies para así no tener problemas de compatibilidad. En la *Figura 62* se muestra cómo hacerlo.

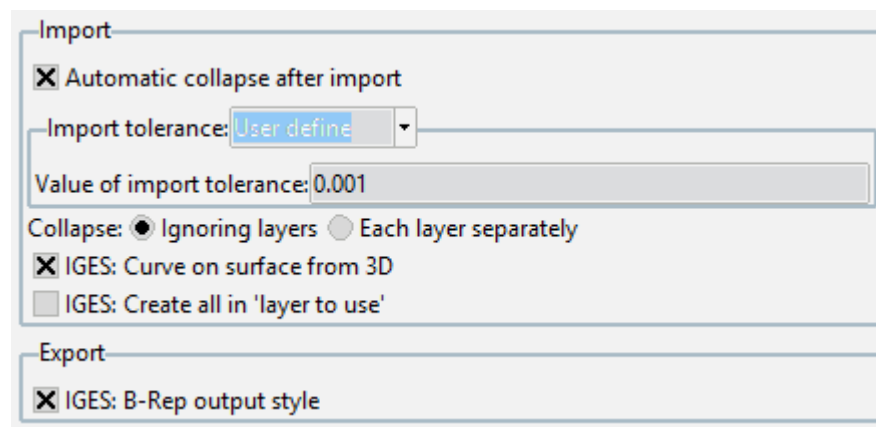


Figura 62 Menú de opciones de importación en Tdyn.

Ahora ya se puede importar el archivo IGES. Cada límite de superficie y vértices coincidentes se colapsan con la tolerancia definida. Esto hará que las superficies queden consolidadas en contacto.

A continuación, se debe definir el material y los espesores de cada superficie.

8.2.3. Definición de espesores y material

El programa dispone de una librería de materiales predeterminados. Esta embarcación se ha diseñado para ser construida en aluminio, concretamente el aluminio 5083. Todos los elementos estructurales son del mismo material, pero los espesores son distintos dependiendo de la placa.

Las placas se clasifican en placas de fondo, costado y cubierta dependiendo de su posición en el casco. Cada uno de estos grupos tiene un espesor definido que se ha calculado anteriormente según la normativa de la sociedad de clasificación DNV-GL.

Los refuerzos estructurales también tienen su propio espesor. A continuación, se muestra cómo se definen todos los componentes estructurales.

Los primeros elementos definidos son los mamparos. Todos están hechos de aluminio y tienen un espesor de 15 milímetros. Dichas propiedades se asignan en el menú mostrado en la *Figura 63*.

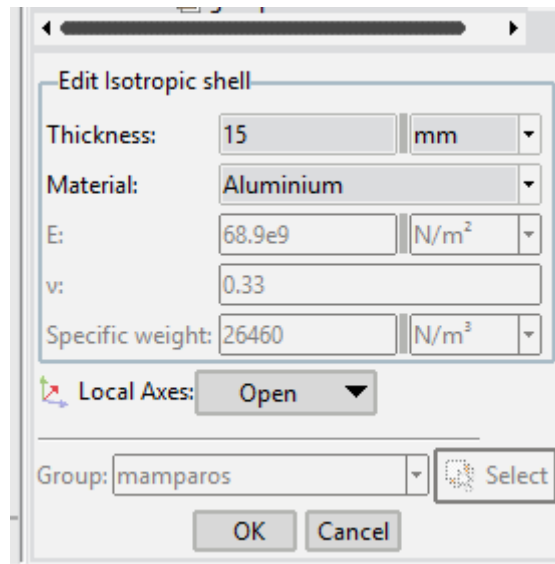


Figura 63 *Propiedades de los mamparos.*

Los siguientes componentes estructurales transversales que se definen son los anillos. También contruidos en aluminio y con un espesor de 15 milímetros, al igual que los mamparos. Dichas propiedades se asignan en el menú mostrado en la *Figura 64*.

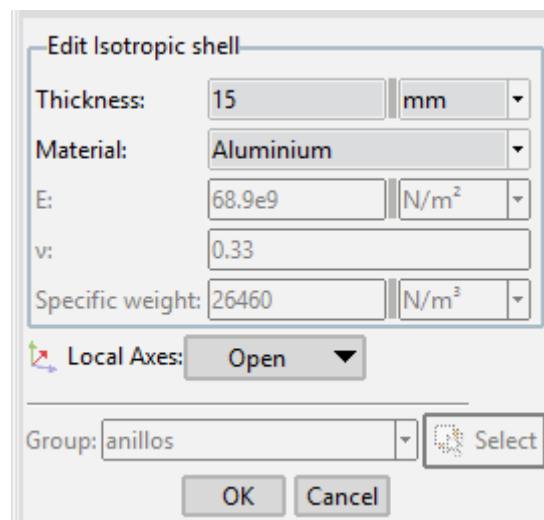


Figura 64 *Propiedades de los anillos.*

El valor del espesor de las planchas calculado anteriormente se define de la siguiente manera para las planchas de fondo y costado. Las de fondo tienen un espesor de 11 milímetros y las de costado de 9 milímetros. Dichas propiedades se asignan en el menú mostrado en las Figuras 65 y 66.

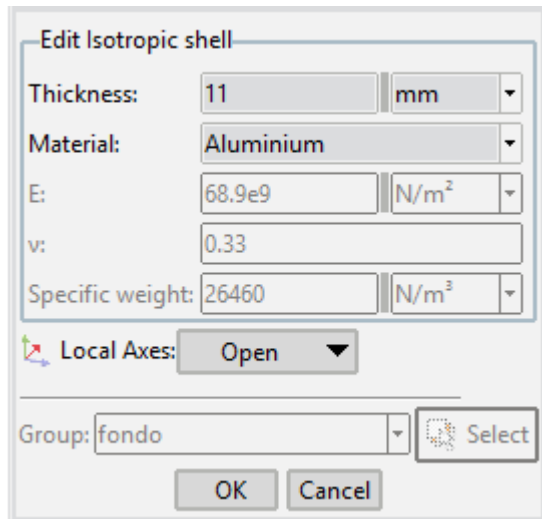


Figura 65 Propiedades de las chapas de fondo.

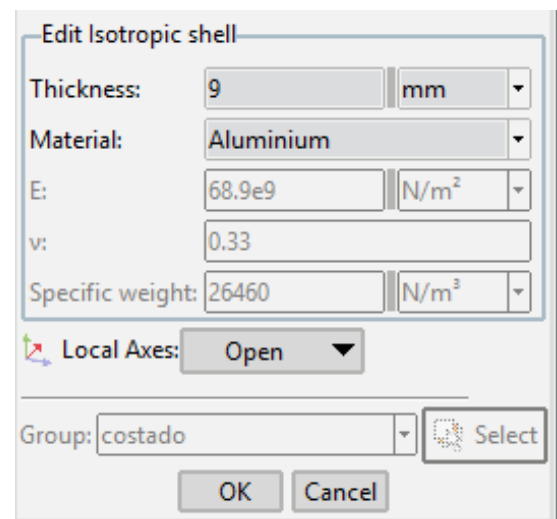


Figura 66 Propiedades de las chapas de costado.

Los últimos elementos que quedan por definir son los refuerzos longitudinales. Estos se dividen entre refuerzos principales y secundarios, pero todos ellos tienen un espesor de 12 milímetros. Dichas propiedades se asignan en el menú mostrado en la Figura 67.

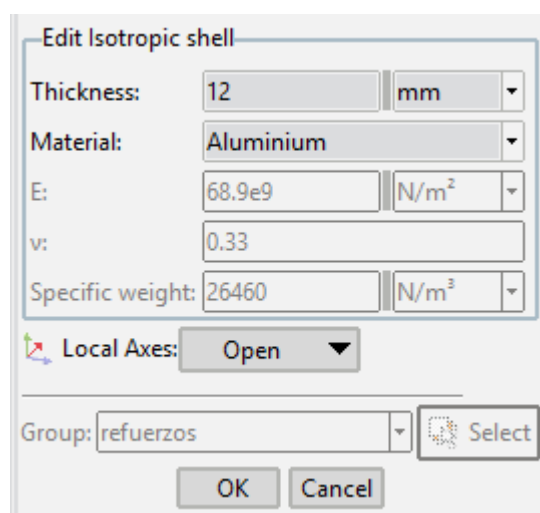


Figura 67 Propiedades de los refuerzos longitudinales.

8.2.4. Cargas y condiciones de contorno.

Una vez llegado a este punto, se deben definir las cargas a las que se somete el casco y las condiciones de contorno. Este es el punto más polémico en el diseño naval.

Las estructuras fijas tienen condiciones de contorno que su condición se puede dividir en condición de viga apoyada o viga empotrada. Una embarcación flota libremente y esto implica que no tiene ningún punto donde la estructura se apoye en caso de recibir un impacto ya que lo absorbe el peso del mismo.

Se van a realizar tres análisis dependiendo de las condiciones de navegación. En el primero se va a suponer una condición de navegación en aguas tranquilas, y después se supondrán las condiciones de navegación más críticas: Arrufo y quebranto.

Antes de proceder con la explicación de los distintos análisis se van a definir los ejes globales del sistema:

X: a lo largo de la eslora, longitudinalmente.

Y: a lo largo de la manga, transversalmente.

Z: a lo largo del puntal, altura.

Condición de navegación en aguas tranquilas

La condición de navegación en aguas tranquilas es la menos crítica. El buque se encuentra en reposo, con su trimado habitual y todo el empuje distribuido uniformemente a lo largo de toda el área de flotación.

Condiciones de contorno

El análisis se va a realizar con la mitad del casco para que así los cálculos sean más sencillos y rápidos. Entonces, para definir las condiciones de contorno se debe fijar la simetría y procurar que el buque quede fijado en el espacio de la manera más real posible.

La solución que se plantea es fijar estratégicamente algunas zonas de conexión con la cubierta donde aparecerán picos de tensiones que no deben considerarse reales.

Debido a que se trabaja con solo la mitad del casco se debe fijar la simetría. Esto quiere decir que en la sección media de la estructura no pueden aparecer deformaciones en la dirección del eje Y. Para esto se va a fijar la estructura, en todas las piezas cortadas por la sección longitudinal, en la dirección del eje Y y los giros en X y en Z.

En la *Figura 68* se muestran las restricciones aplicadas y en la *Figura 69* se muestran sombreadas las zonas donde se ha fijado la estructura.

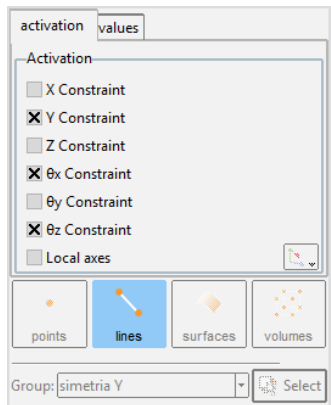


Figura 68 *Parámetros fijados en la condición de simetría.*

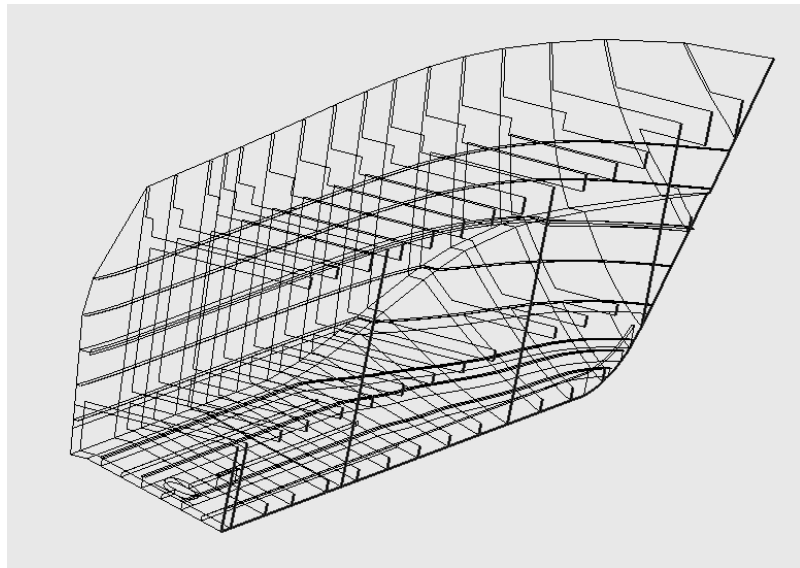


Figura 69 *Elementos donde se aplican las restricciones.*

Por ahora solo se ha restringido el desplazamiento en el eje Y, así que aún se debe fijar en X y en Z. Para fijarlo en la dirección del eje X se restringe el movimiento en toda la superficie donde se apoya la hélice del motor. Esto es así porque en esa zona y en la bancada se aplicará la fuerza de empuje generada por el motor.

En la *Figura 70* se muestran las restricciones aplicadas y en la *Figura 71* se muestran sombreadas las zonas donde se ha fijado la estructura.

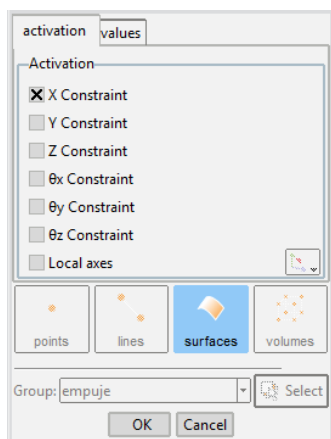


Figura 70 *Restricción del desplazamiento en X.*

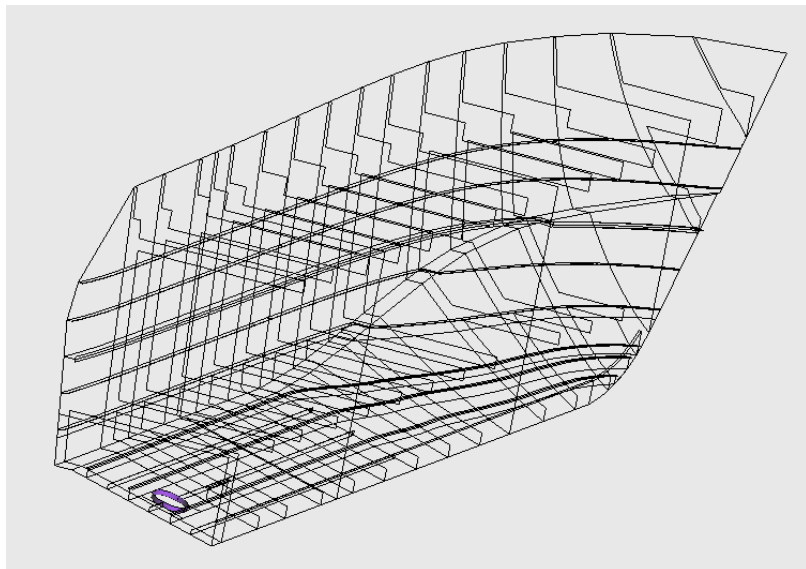


Figura 71 *Elementos a los que se aplica la restricción.*

Por último, solo falta restringir el movimiento en la dirección del eje Z. Para ello se fija la intersección entre la cubierta y el mamparo del pique de proa para que no se desplace en Z. De igual manera se fija también la intersección del mamparo del espejo de popa con la cubierta.

La estructura se ha fijado en estos puntos ya que, al ser los dos mamparos de mayor importancia en la embarcación, se asume que van a deformarse de manera menos importante que los demás.

En la *Figura 72* se muestran las restricciones aplicadas y en la *Figura 73* se muestran sombreadas las zonas donde se ha fijado la estructura.

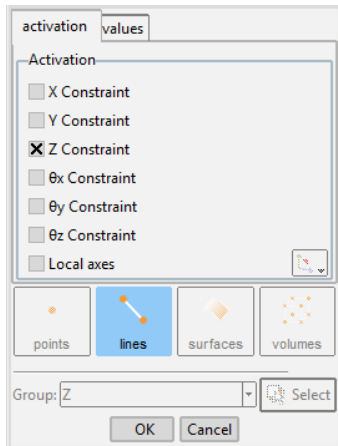


Figura 72 Restricción del desplazamiento en Z.

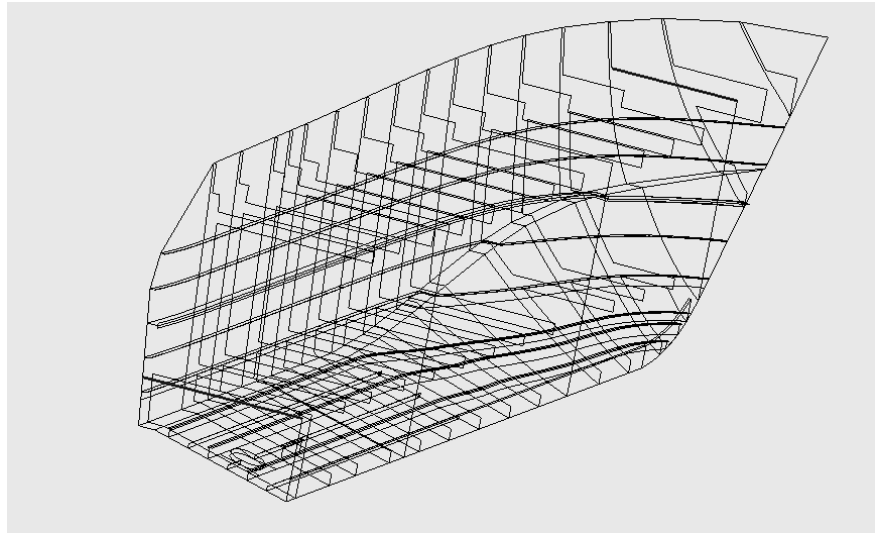


Figura 73 Elementos a los que se aplica la restricción.

Presiones y cargas puntuales

Una vez definidas las condiciones de contorno, se debe determinar que presiones actúan sobre el casco y en que superficies. En este estudio las únicas presiones que se tendrán en cuenta van a ser las hidrostáticas, el peso del motor y el peso propio de toda la estructura.

El casco tiene un calado de 1,101 metros y la presión variará según la profundidad, es decir, cuanto más próximo a la línea base del casco mayor será la presión. La presión se calcula mediante la fórmula:

$$P = \rho gh$$

Donde:

ρ = densidad del fluido, en este caso agua de mar.

g = aceleración de la gravedad.

h = profundidad de la línea de calado.

Tal y como se deduce de la fórmula, la presión variará en función de la profundidad, pero para este estudio se tomará en consideración una presión constante en toda la superficie igual a la presión de la línea base de la embarcación. De esta manera se realizará el estudio en unas condiciones más críticas ya que la presión en vez de ir disminuyendo se mantendrá constante. Lo que se persigue así es que la embarcación tenga un coeficiente de seguridad mayor.

La presión en la línea base resulta:

$$P = 1,025 * 9,8 * 1,101 = 11060 \text{ Pa}$$

Ésta actúa en toda la obra viva. En las Figuras 74 y 75 se muestra donde se aplica esta presión y como se ha definido. Es muy importante que se defina respecto a los ejes locales de las superficies y no respecto a los globales del sistema. De esta manera la presión actuará perpendicularmente a la superficie.

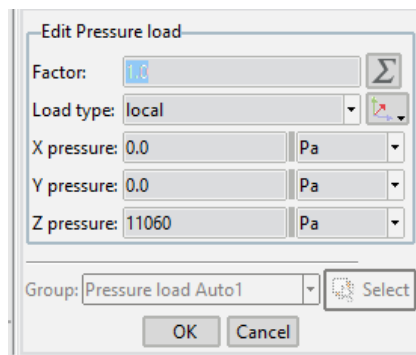


Figura 74 *Propiedades de la carga.*

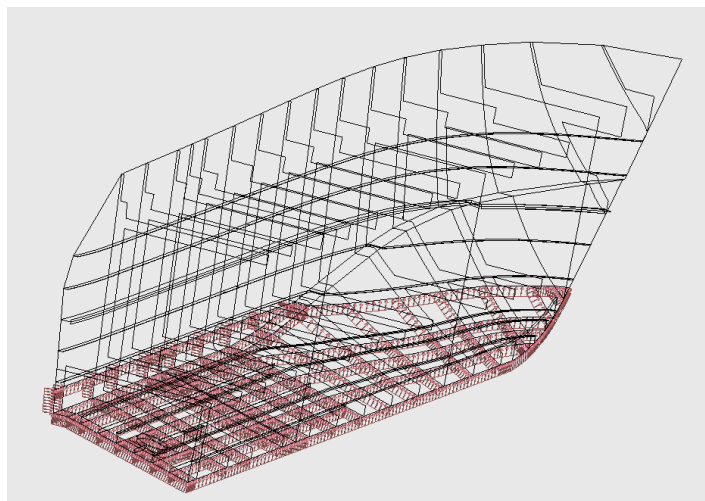


Figura 75 *Representación de la carga aplicada.*

Otra carga a tener en cuenta es el peso del motor. Éste pesa 2300 kilogramos y se apoya encima de la bancada. Los apoyos tienen una superficie de 0,2 metros cuadrados. Así que la presión ejercida en esa superficie es de:

$$P = \frac{2300 * 9,8}{0,2} = 108000 \text{ Pa}$$

En las Figuras 76 y 77 se muestra como se ha definido esta carga y en que superficie.

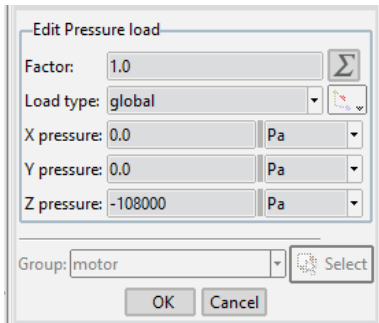


Figura 76 Propiedades de la carga.

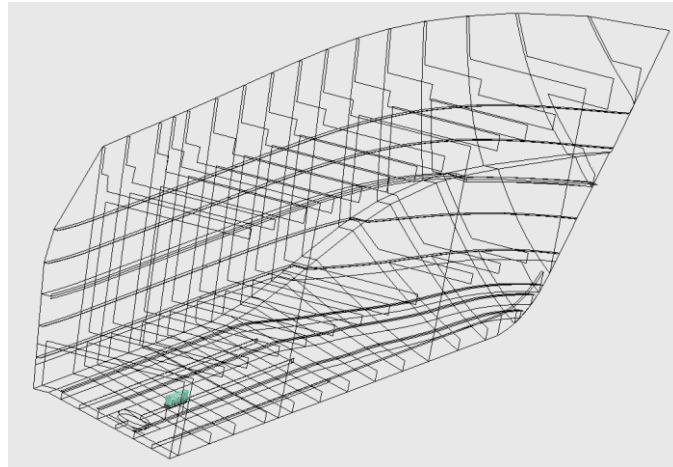


Figura 77 Representación de la carga.

Por último, solo hace falta añadir el peso muerto de toda la estructura y ya estarán todas las cargas definidas. Como anteriormente se han definido cuál iba a ser el material de todos los elementos, esta componente del peso propio es muy sencilla y rápida de añadir en el problema. Simplemente se debe seleccionar la opción que aparece remarcada en la Figura 78 y seleccionar todo el conjunto.

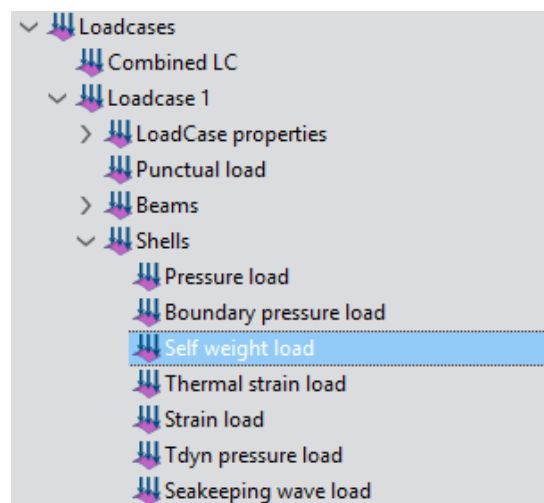


Figura 78 Asignación de la carga de peso propio.

Mallado

Una vez definido todo el problema, la última acción a realizar antes de proceder al cálculo es el mallado. Para esto también se usará Ramseries y se definirá una malla lo suficiente pequeña para que los resultados sean lo más precisos posible. En las *Figuras 79 y 80* se muestra la malla con la información sobre los nodos y los elementos que la componen respectivamente.

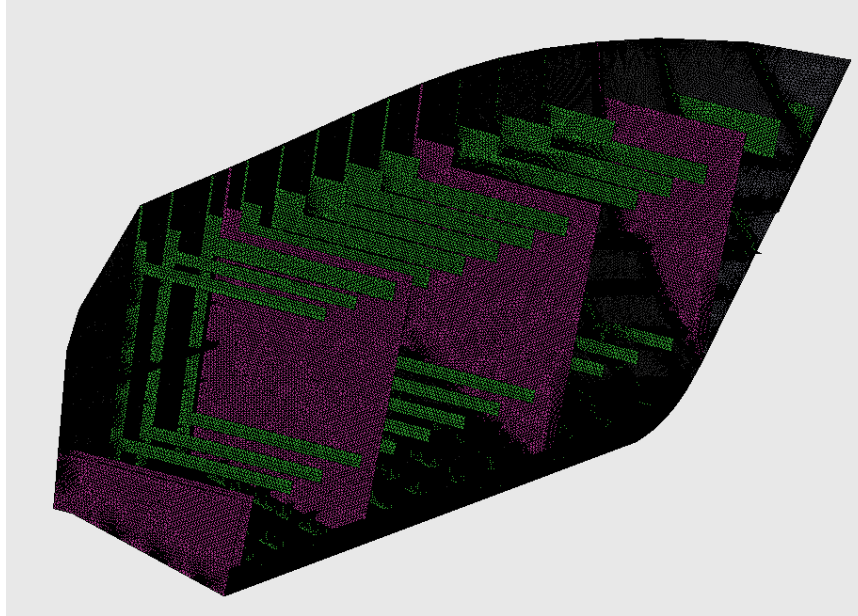


Figura 79 Representación del mallado del casco y sus refuerzos.

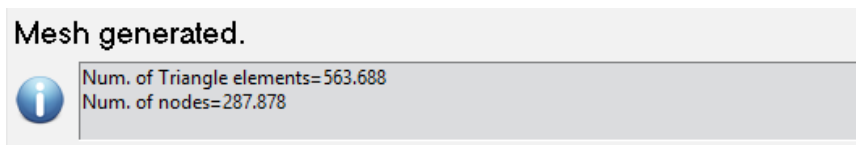


Figura 80 Numero de nodos y elementos de la malla generada.

Post-proceso y resultados

Una vez realizado el cálculo se analizan las deformaciones, las tensiones y el factor de seguridad de la estructura.

Desplazamientos

Como podemos observar, el desplazamiento máximo es de 9 milímetros, resultado que se asume como satisfactorio ya que se debe tener en cuenta el sobredimensionamiento de la presión hidroestática.

Las zonas donde las deformaciones son mayores se encuentran en el fondo en la zona central y en la popa, justo donde se encuentra el motor. Esto indica donde se debería reforzar la estructura en la siguiente vuelta de espiral.

En la *Figura 81* se muestran los desplazamientos de la estructura.

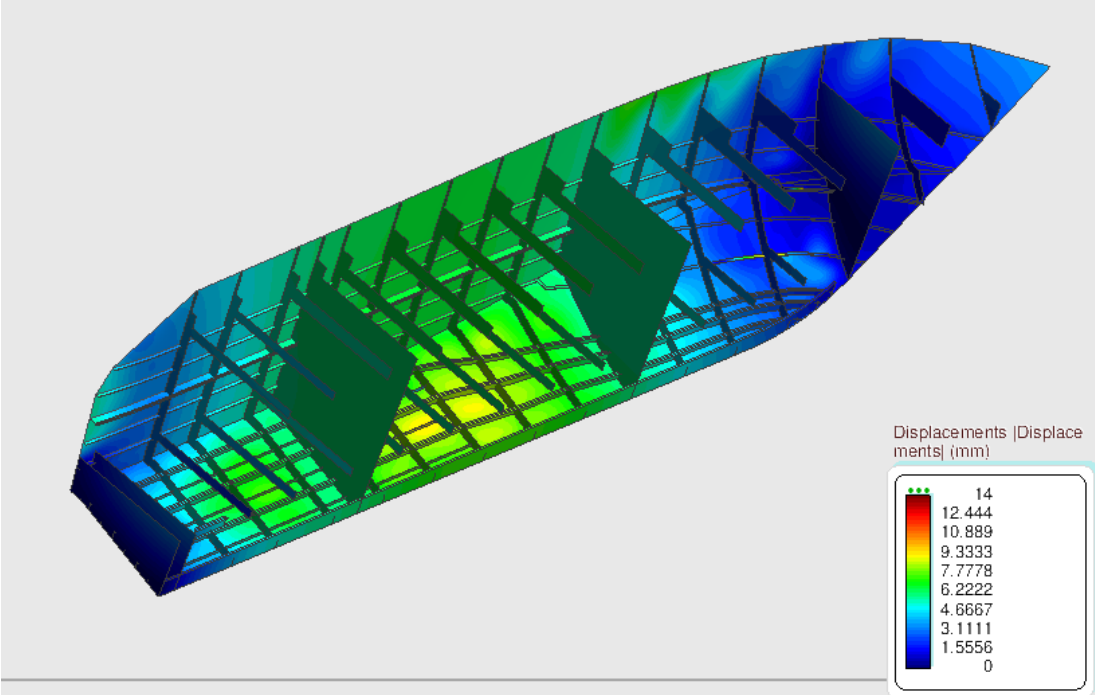


Figura 81 Desplazamientos absolutos.

Tensiones máximas Von Mises Top

A continuación, se muestran las tensiones máximas que sufre el modelo. Se puede observar que las tensiones máximas se encuentran en las uniones entre los anillos y el casco y en la zona donde se ha fijado la estructura (mamparos de proa y popa). Estas últimas tensiones son debidas a las condiciones de contorno y en la realidad nunca van a tener valores tan grandes.

En la *Figura 82* se muestra el mapeado donde se pueden observar los esfuerzos hasta los 30 MPa. La conclusión es que la estructura únicamente sobrepasa este límite en las zonas donde ha estado fijada.

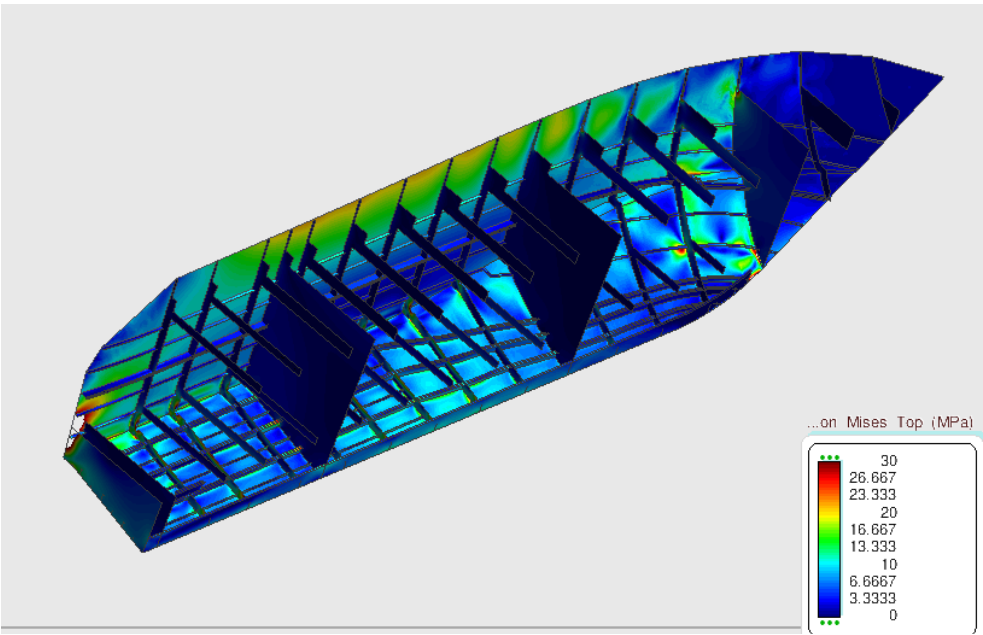


Figura 82 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 30 MPa.

En el siguiente mapeado se muestran todas las tensiones hasta los 60 MPa. Aquí se puede observar que todos los esfuerzos se mantienen por debajo de este valor. Teniendo en cuenta que el aluminio utilizado tiene una carga de rotura de 125 MPa, se puede afirmar que en estas condiciones de navegación la estructura tiene un coeficiente de seguridad de 4.

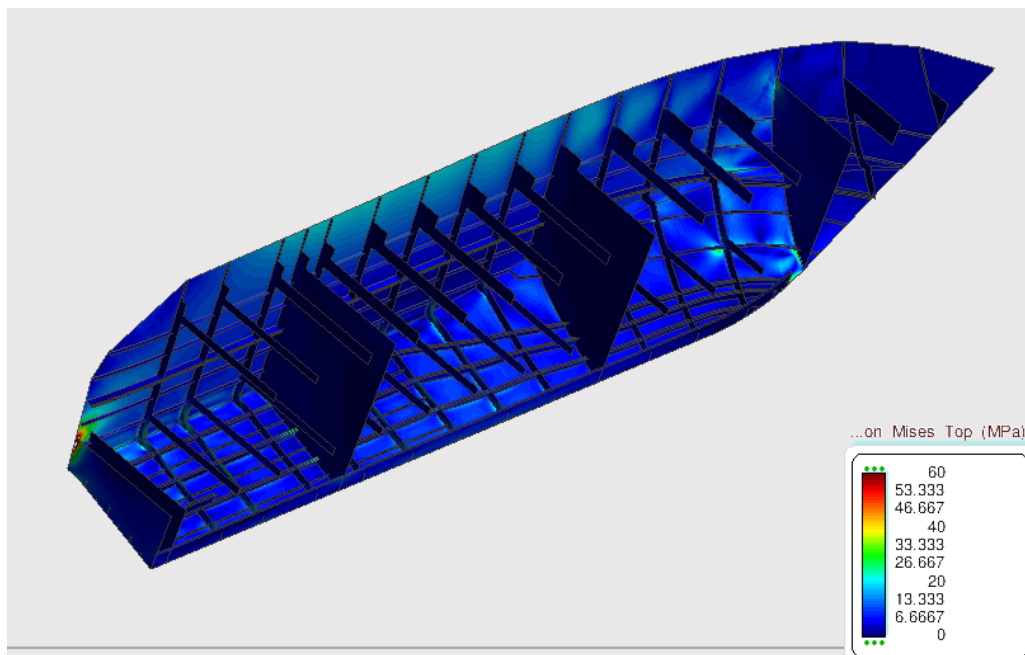


Figura 83 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 60 MPa.

Condición de navegación en arrufo

A continuación, se va a simular cómo se comportará la estructura en una condición de arrufo. Una de las condiciones de navegación más críticas. En esta condición la embarcación se sustenta en dos puntos, la popa y la proa, debido al paso de una ola tal y como se muestra en la *Figura 84*.

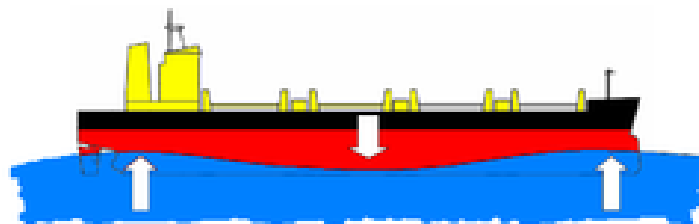


Figura 84 Condición de arrufo para una embarcación.

Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno en esta condición son las mismas que las definidas anteriormente, ya que los apoyos se encuentran en la popa y en la proa.

Presiones y cargas puntuales

Para poder simular este caso, se ha invertido el sentido de la presión hidrostática. Esta presión equivale al desplazamiento del buque, así que invirtiendo su sentido equivale aplicarle todo su propio peso. Además de esto, se conserva el peso propio de la estructura para que la condición aún sea más crítica.

La presión hidrostática invertida se define tal y como se muestra en las *Figuras 85 y 86*.

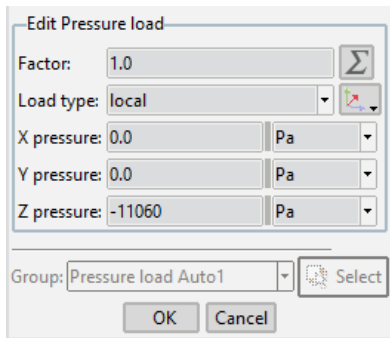


Figura 85 *Propiedades de la carga a aplicar.*

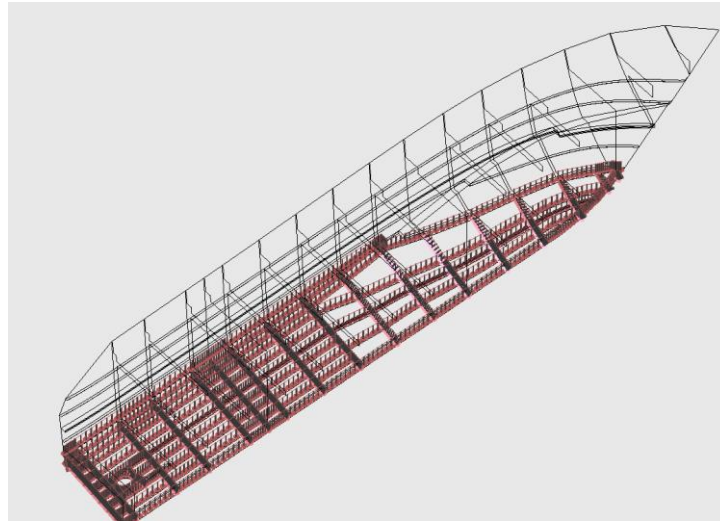


Figura 86 *Representación de la carga aplicada.*

Mallado

El mallado realizado para este análisis es exactamente el mismo que en la condición de aguas tranquilas.

Post-proceso y resultados

Una vez realizado el cálculo se analizan las deformaciones, las tensiones y el factor de seguridad de la estructura.

Deformaciones

Se puede observar que en esta condición de arrufo las deformaciones máximas, tal y como es de esperar, se generan en la sección media de la embarcación ya que la proa y la popa se encuentran encima de las crestas de la ola que se simulan como si fueran apoyos simples.

Así se obtiene una deformación máxima de 11,5 milímetros. En la *Figura 87* se puede observar lo explicado anteriormente.

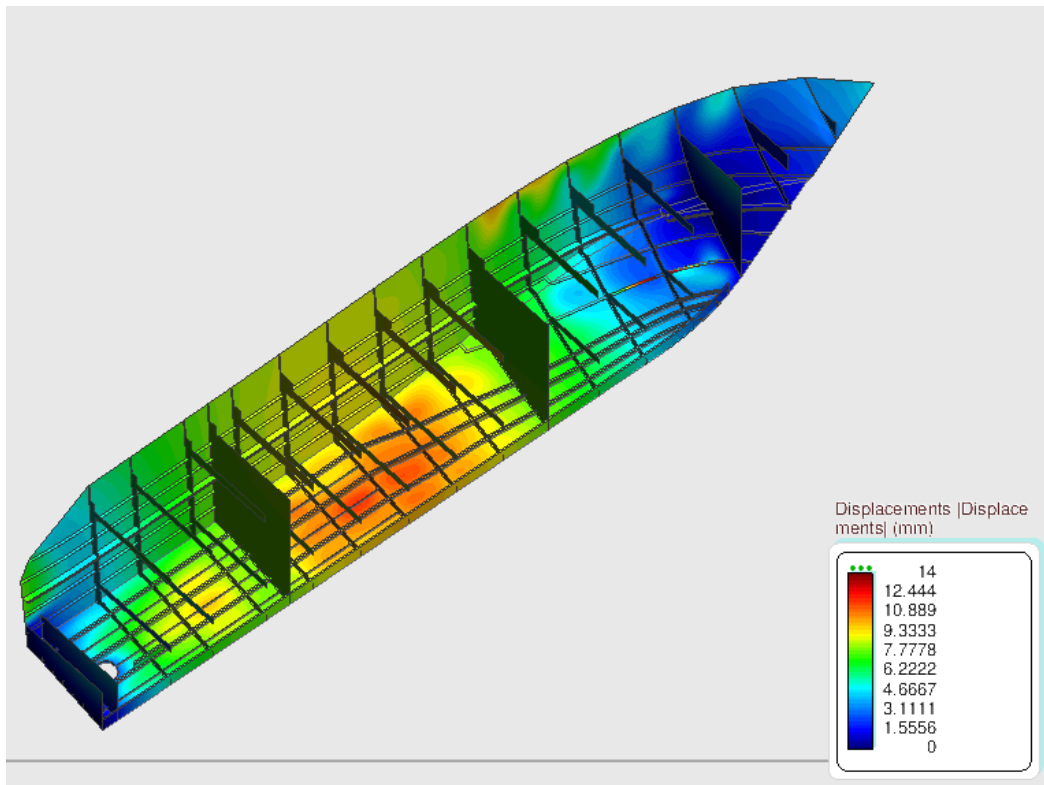


Figura 87 Desplazamientos absolutos.

Tensiones máximas Von Mises Top

Relacionado con las tensiones se puede observar, en la *Figura 88* donde se han mapeado todas las tensiones en un rango de 0 a 30 MPa, que las tensiones máximas se encuentran en la parte superior del costado y en las zonas de popa y proa donde se han situado los apoyos.

En esta simulación ocurre lo mismo que en la anterior, y es que en las zonas donde se han aplicado las condiciones de contorno se generan unos esfuerzos muy grandes que en la realidad no se darán.

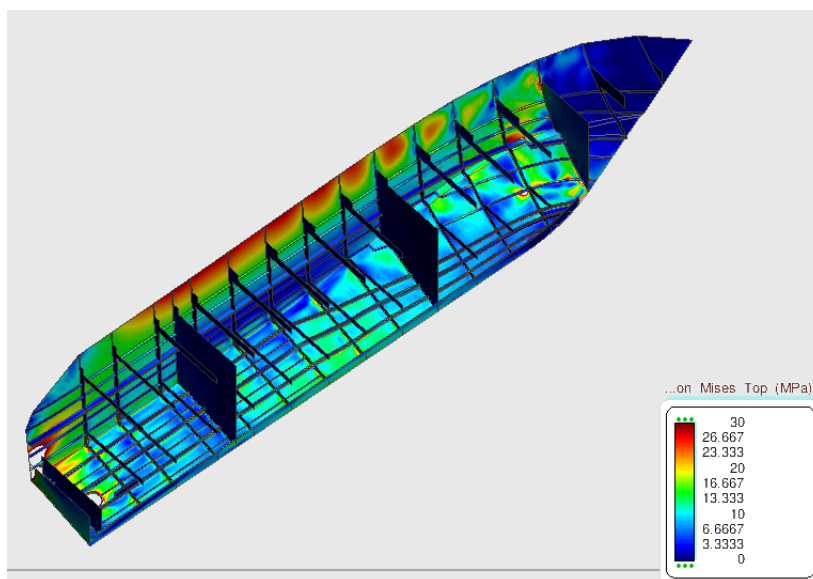


Figura 88 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 30 MPa.

En la *Figura 89* se vuelven a mostrar los esfuerzos de Von Mises pero cambiando la escala de colores, ahora se muestran los esfuerzos en un rango de 0 a 60 MPa. Se puede extraer la conclusión que todos los esfuerzos que aparecen en la estructura están por debajo de los 30 MPa, exceptuando los que aparecen en las zonas donde se aplican las condiciones de contorno.

Así que la estructura en una condición de navegación de arrufo también conserva un factor de seguridad de 4.

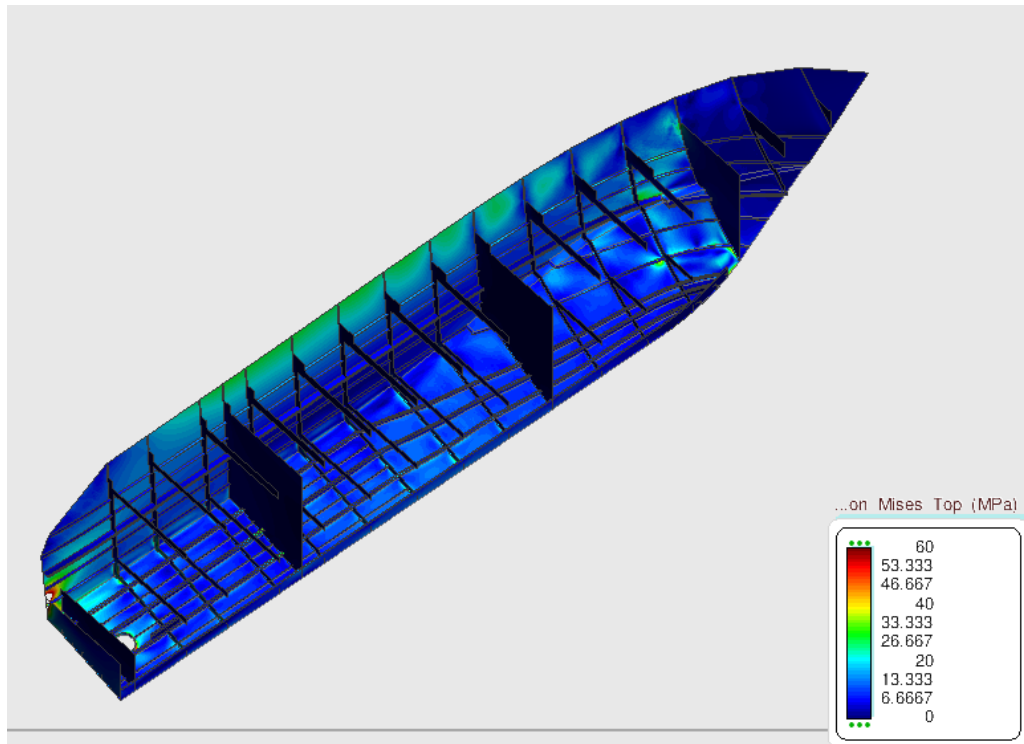


Figura 89 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 60 MPa.

Condición de navegación en quebranto

A continuación, se va a simular cómo se comportará la estructura en una condición de navegación en quebranto. También otra de las condiciones de navegación más críticas. En esta condición la embarcación se sustenta en un solo punto situado aproximadamente en la mitad de la eslora de flotación debido al paso de una ola tal y como se muestra en la *Figura 90*.

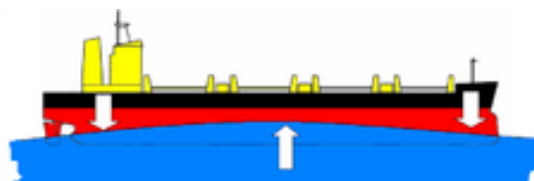


Figura 90 Condición de quebranto para una embarcación.

Condiciones de contorno

En esta nueva condición de navegación se deben modificar las condiciones de contorno, ya que ahora la embarcación se sustentará en una sección del casco muy estrecha y próxima a la mitad de la eslora de flotación. En las *Figuras 91 y 92* se muestra como se ha definido esta nueva condición y en qué zona se aplica.

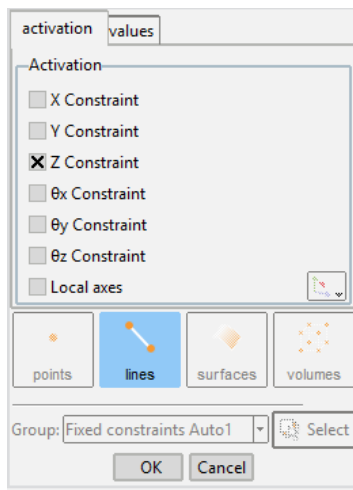


Figura 91 Restricciones a aplicar en el apoyo.

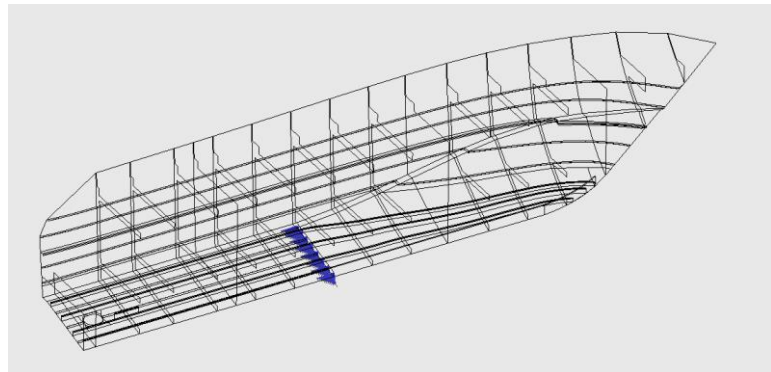


Figura 92 Zona donde se aplican las restricciones.

Presiones y cargas puntuales

Las presiones que se aplican en esta simulación son exactamente las mismas que en la simulación de arrufo. La presión hidrostática aplicada en el sentido opuesto y el peso propio de la estructura que hace que la condición sea más crítica aún.

Post-proceso y resultados

Una vez realizado el cálculo se analizan las deformaciones, las tensiones y el factor de seguridad de la estructura. De esta simulación se espera que las deformaciones máximas se den en la proa y la popa de la embarcación, y las tensiones máximas en la sección media.

Desplazamientos

Tal y como se esperaba de esta simulación, los desplazamientos máximos se dan en la proa y en la popa de la embarcación, mientras que en la sección media son prácticamente nulos. El desplazamiento máximo es de 500 milímetros y se dan en la proa, pero en la realidad este desplazamiento jamás será tan grande debido a que se han sobredimensionado las cargas aplicadas. La distribución de dichos desplazamientos se muestra en la *Figura 93*.

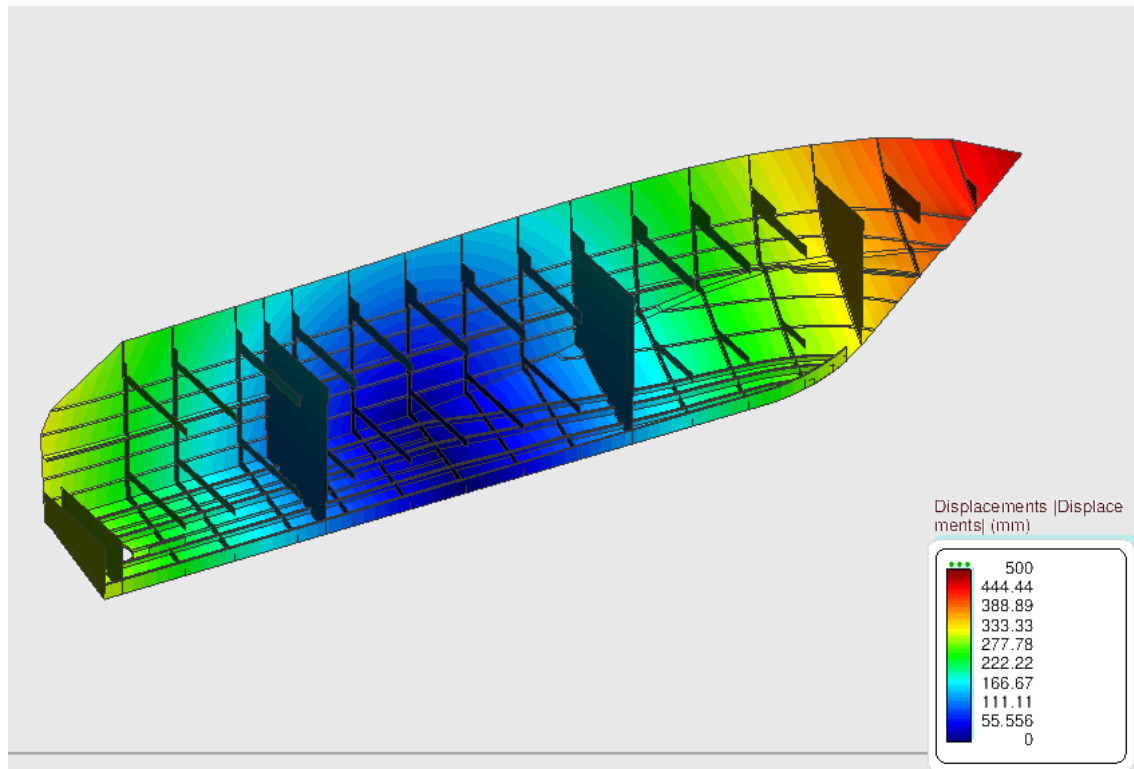


Figura 93 Desplazamientos absolutos.

Tensiones máximas Von Mises Top

Relacionado con las tensiones se puede observar, en la *Figura 94* donde se han mapeado todas las tensiones en un rango de 0 a 30 MPa, que las tensiones máximas se encuentran en la parte superior del costado donde se ha colocado el apoyo y en la zona de popa donde se encuentra todo el peso del motor.

En esta simulación ocurre lo mismo que en la anterior, y es que en las zonas donde se han aplicado las condiciones de contorno se generan unos esfuerzos mucho mayores que en la realidad no aparecerán.

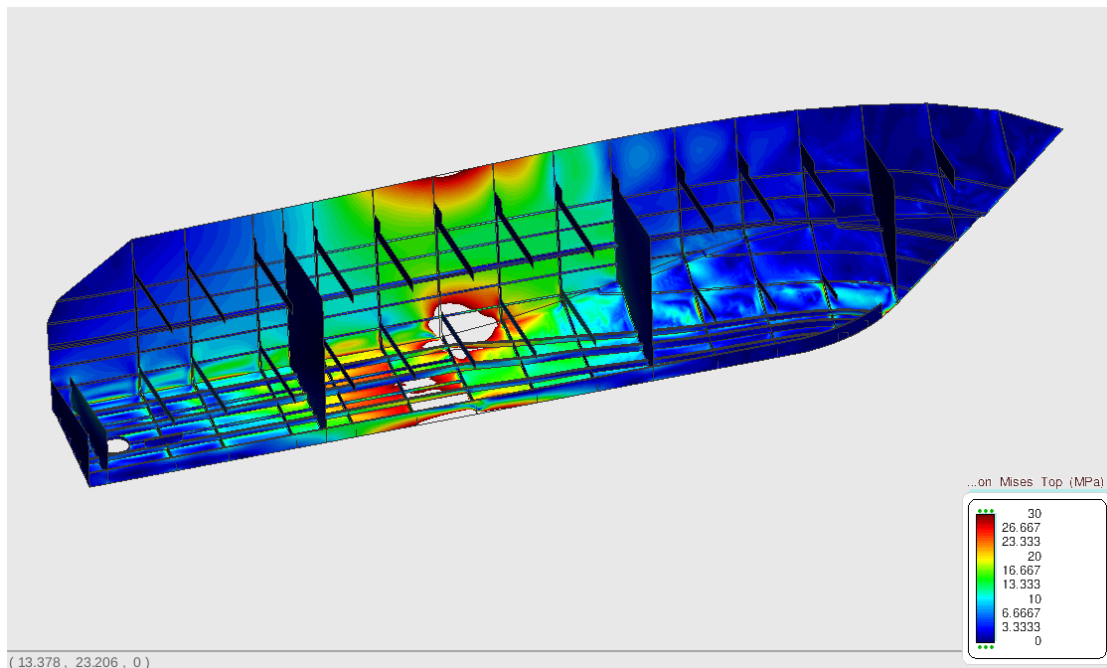


Figura 94 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 30 MPa.

En la *Figura 95* se vuelven a mostrar los esfuerzos de Von Mises pero cambiando la escala de colores, ahora se muestran los esfuerzos en un rango de 0 a 60 MPa. Se puede observar que no todos los esfuerzos que aparecen en la estructura están por debajo de los 60 MPa.

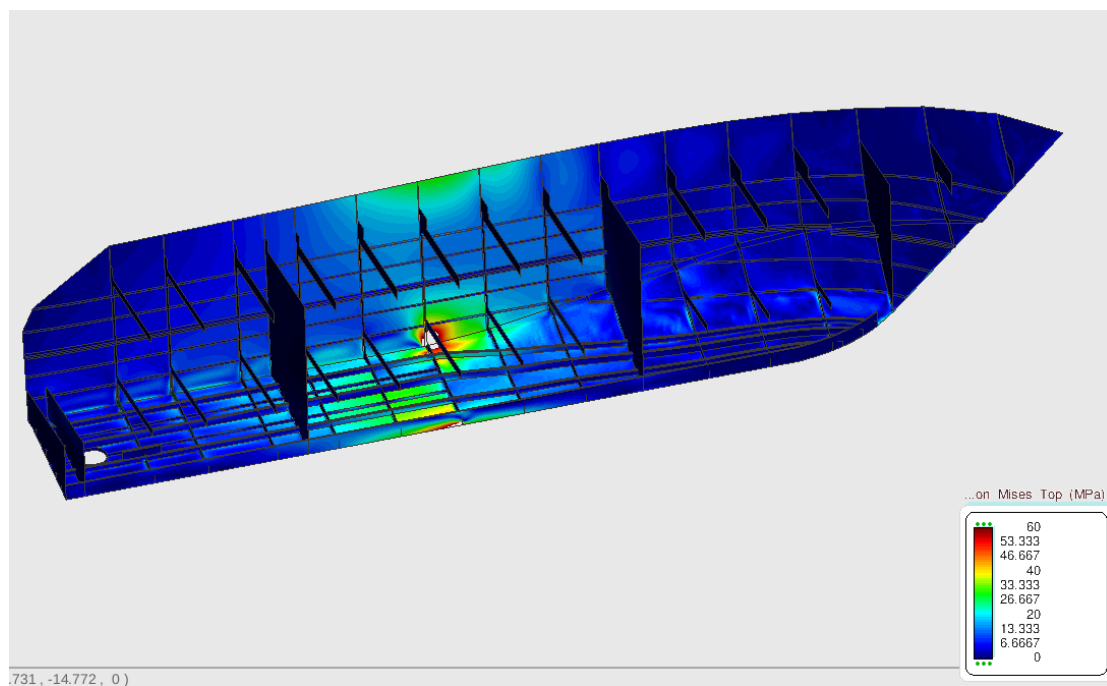


Figura 95 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 60 MPa

8.3. Cálculo de la estructura de la superestructura

El otro elemento de la embarcación que debe ser analizado mediante elementos finitos es la superestructura del yate. Para que esto sea posible se deben realizar los mismos pasos que se realizaron con el casco, primero una reparación de todas las superficies y después reorientar las normales de cada superficie. Para la superestructura también se orientarán hacia el interior de esta.

Una vez realizadas estas acciones se debe exportar el archivo IGES e importarlo en Ramseries. Una vez en el programa se deberán definir los materiales, las condiciones de contorno y las cargas que se le aplicarán. Pero primero se deben definir cuáles son los ejes globales del sistema.

X: a lo largo de la eslora, longitudinalmente.

Y: a lo largo de la manga, transversalmente.

Z: a lo largo del puntal, altura.

8.3.1. Definición de materiales y espesor

Toda la superestructura y su propia estructura se diseñarán utilizando el aluminio 5083, el mismo que ha sido usado para el casco y su estructura. La superestructura esta reforzada con vigas con sección en forma de T, igual que los refuerzos primarios del casco. Así que las dimensiones de los refuerzos son las mismas, pero los espesores de los refuerzos de la estructura de la superestructura no son los mismos que los que se han usado para los refuerzos primarios del casco.

Las placas de la superestructura deberán soportar dos cargas. Una carga distribuida en la cubierta del solárium que será igual al peso que deberá ser capaz de soportar y después la carga del viento.

El espesor de las placas que forman la superestructura es de 5 milímetros y el espesor de los refuerzos que las sostienen es de 10 milímetros.

En las *Figuras 96, 97, 98 y 99* se muestra cómo se han definido primero los refuerzos y después las placas según sus materiales y espesores.

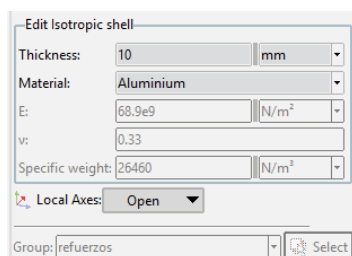


Figura 96 Propiedades asignadas a los refuerzos de la superestructura.

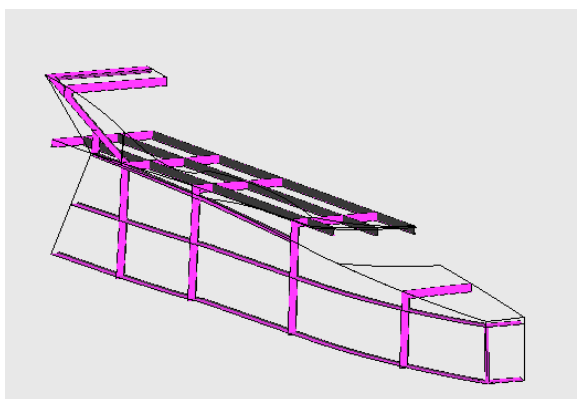


Figura 97 Perspectiva de los refuerzos de la superestructura en Tdyn.

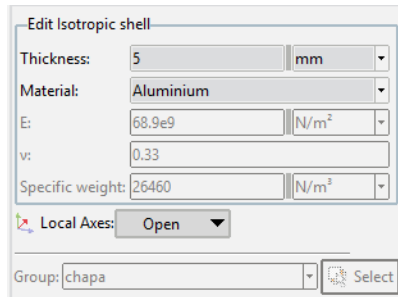


Figura 98 Propiedades asignadas a las chapas de la superestructura.

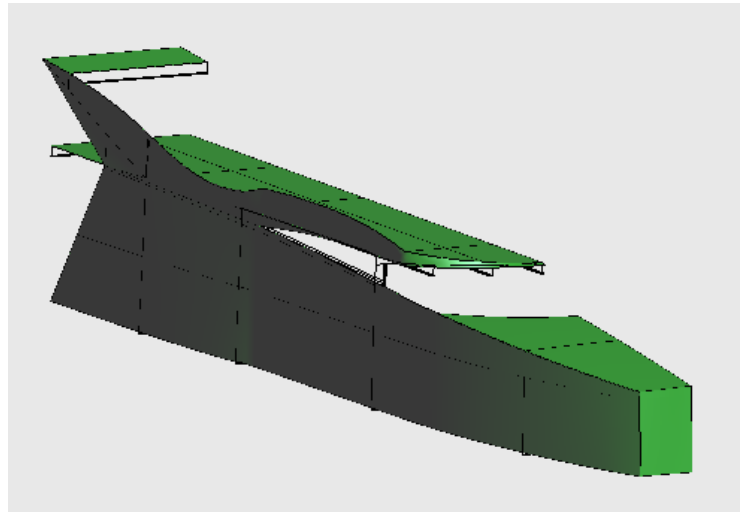


Figura 99 Perspectiva de las chapas de la superestructura.

8.3.2. Condiciones de contorno

El análisis se va a realizar con la mitad de la superestructura para que así los cálculos sean más sencillos y rápidos. Entonces, para definir las condiciones de contorno se debe fijar la simetría y procurar que la superestructura quede fijada en el espacio de la manera más real posible.

Se van a crear dos tipos de empotramientos. Uno para restringir el desplazamiento en la dirección del eje Y en todo el contorno de la simetría. En las Figuras 100 y 101 se muestra como se ha definido el empotramiento y las restricciones de movimiento.

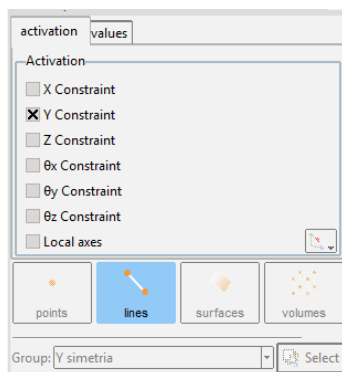


Figura 100 Restricciones a aplicar en el apoyo.

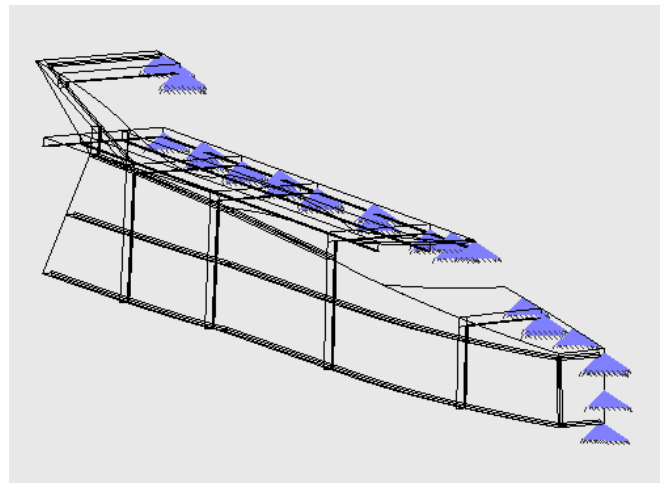


Figura 101 Zonas donde se aplican las restricciones.

Ahora la geometría se encuentra fijada en el eje Y, pero aún se tiene que fijar en X y en Z. Así que se le añadirá otro empotramiento, donde se van a restringir todos los desplazamientos y giros en cada uno de los ejes, en las bases de los refuerzos de la superestructura donde esta se conecta con los anillos del casco. En estos puntos se debe empotrar completamente geometría tal y como se muestra en las *Figuras 102 y 103*.

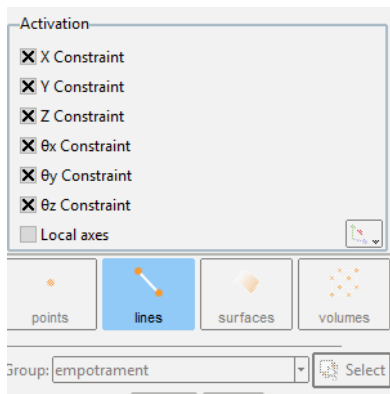


Figura 102 Restricciones a aplicar en el apoyo.

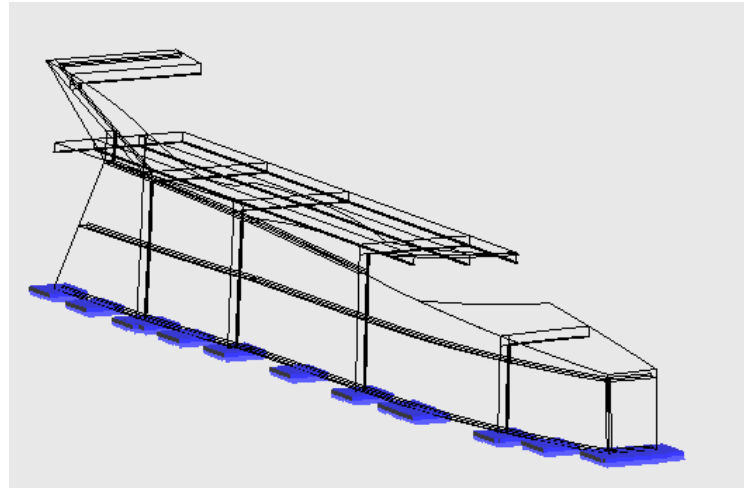


Figura 103 Zonas donde se aplican las restricciones.

Ahora ya se tienen definidas todas las condiciones de contorno necesarias para poder realizar el análisis. El siguiente paso es definir las cargas que se le aplicarán a la estructura.

8.3.3. Presiones y cargas puntuales

En este apartado se van a definir las cargas a las que se somete la estructura. Se van a crear tres grupos distintos de cargas. La primera carga va a ser una carga distribuida en toda la superficie del solárium. Se supone que la estructura tiene que poder soportar un peso de 2000 kilogramos, este valor es notablemente superior al que realmente va a tener que soportar.

El solárium tiene una superficie de 65,33 metros cuadrados. Así que la presión se calcula:

$$P = \frac{2000 * 9,8}{65,33} = 300 \text{ Pa}$$

En la siguientes *Figuras 104 y 105* se muestra cómo y dónde se ha definido esta carga.

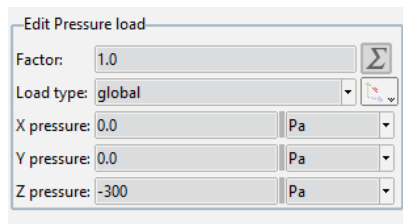


Figura 104 *Propiedades de la carga a aplicar.*

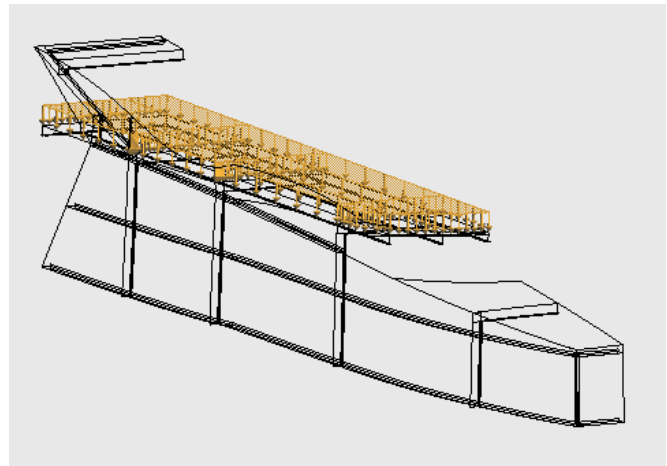


Figura 105 *Representación de la carga aplicada.*

Aún quedan dos cargas más por definir. En la zona más elevada de la superestructura se acostumbra a colocar ciertos sistemas de telecomunicaciones como antenas, GPS, radar y demás. La estructura donde todos estos elementos se apoyen tiene que ser capaz de soportar el peso de todo el conjunto.

Se supone un peso total de 100 kilogramos que se distribuyen en una superficie de 5,66 metros cuadrados. La presión se calcula:

$$P = \frac{100 * 9,8}{5,66} = 173 \text{ Pa}$$

En las *Figuras 106 y 107* se muestra cómo y dónde se define esta carga.

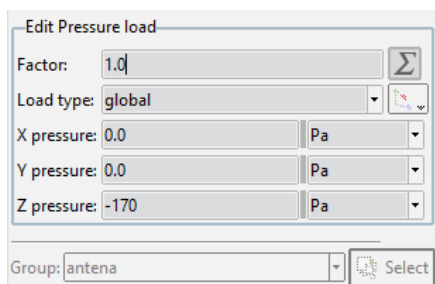


Figura 106 *Propiedades de la carga a aplicar.*

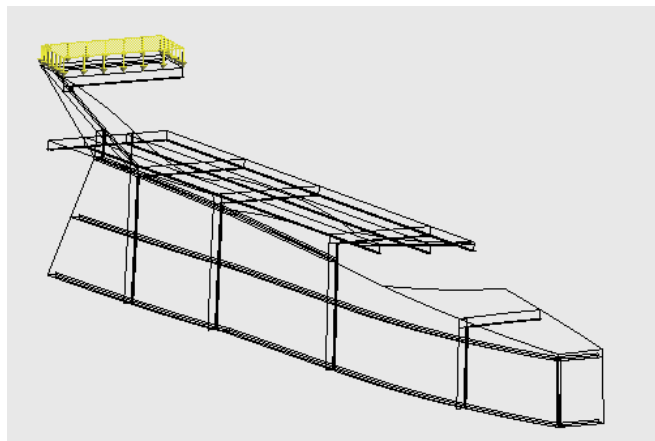


Figura 107 *Representación de la carga*

La última carga a definir es la carga provocada por el viento sobre la superficie de la superestructura. Para calcular el valor de esta carga se debe suponer una velocidad del viento. Se simulará un caso muy crítico, considerando un viento de 110 Km/h. la carga del viento se calcula:

$$P = 0,613V^2 = 0,613 * 30,55^2 = 572,32 \text{ Pa}$$

Donde la velocidad se expresa en m/s. Se va a considerar que esta carga actúa en la superficie lateral de la superestructura, ya que esta es la más grande.

En las *Figuras 108 y 109* se muestra cómo y dónde se ha definido esta carga.

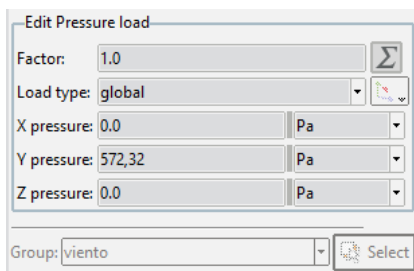


Figura 108 *Propiedades de la carga a aplicar.*

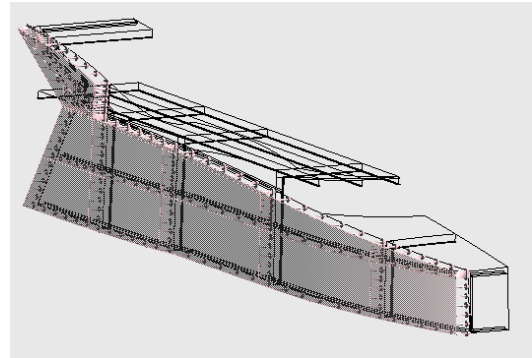


Figura 109 *Representación de la carga aplicada.*

Mallado

Llegados a este punto ya se tienen todos los materiales, espesores, condiciones de contorno y cargas definidas. Así que el último paso antes de simular la estructura es realizar el mallado. Se va a definir una malla bien pequeña para que los resultados sean lo más precisos posibles.

La malla resultante se compone de 219225 elementos y 115719 nodos.

En la *Figura 110* se muestra cual ha sido la malla utilizada con la información sobre los elementos y nodos que la componen.

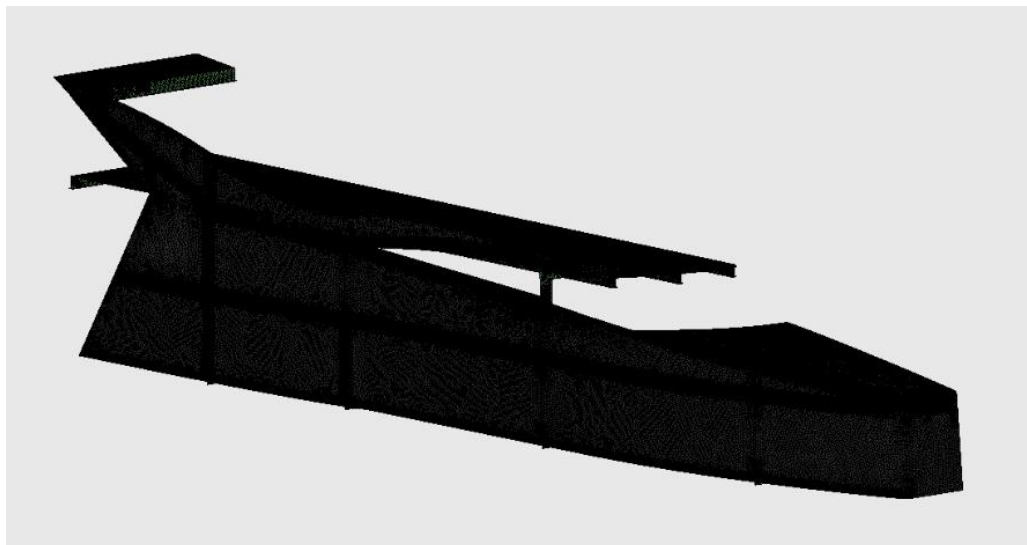


Figura 110 *Representación de la malla generada.*

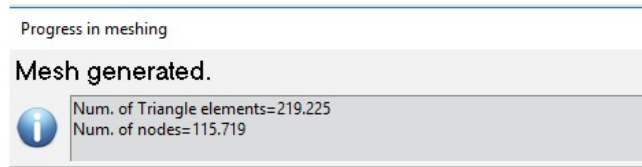


Figura 111 Número de nodos y de elementos presentes en la malla.

Post-proceso y resultados

Una vez realizado el cálculo se analizan las deformaciones, las tensiones y el factor de seguridad de la estructura.

Deformaciones

Podemos observar que en toda la superestructura las deformaciones son mínimas, menos en el extremo del suelo del solárium, donde aparece un desplazamiento de 22 milímetros. Este desplazamiento tan elevado es debido al sobre dimensionamiento de la carga que se ha aplicado en la cubierta y se muestra en la *Figura 112*.

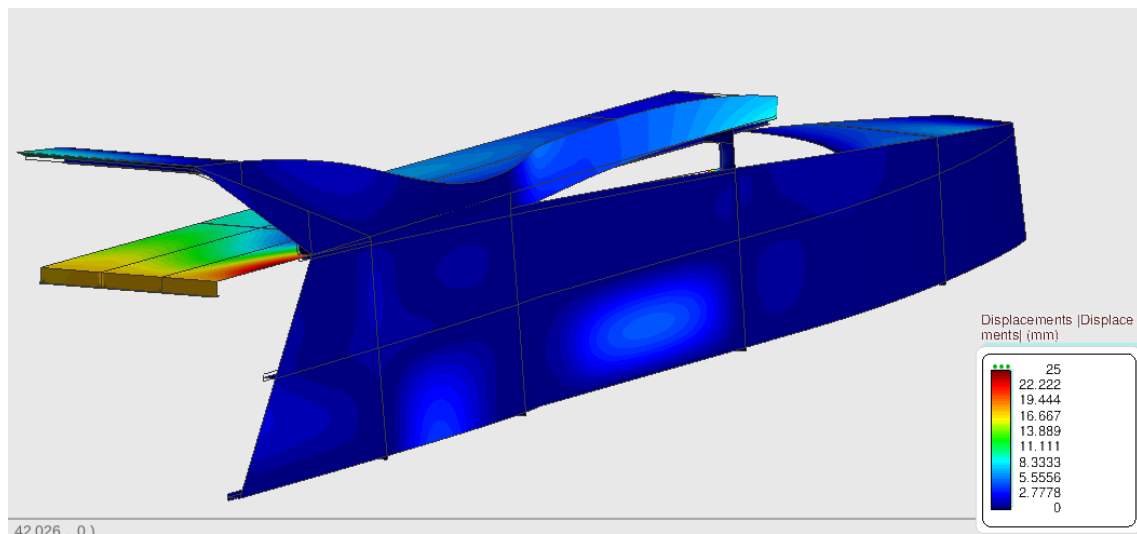


Figura 112 Deformaciones absolutas.

Tensiones máximas Von Mises Top

A continuación, se muestran las tensiones de Von Mises de la superestructura. En este primer mapeado se muestran las tensiones escaladas en un rango de 0 a 62,5 MPa. Se puede observar en la *Figura 113* que en ningún punto del modelo se superan los 30 Mpa.

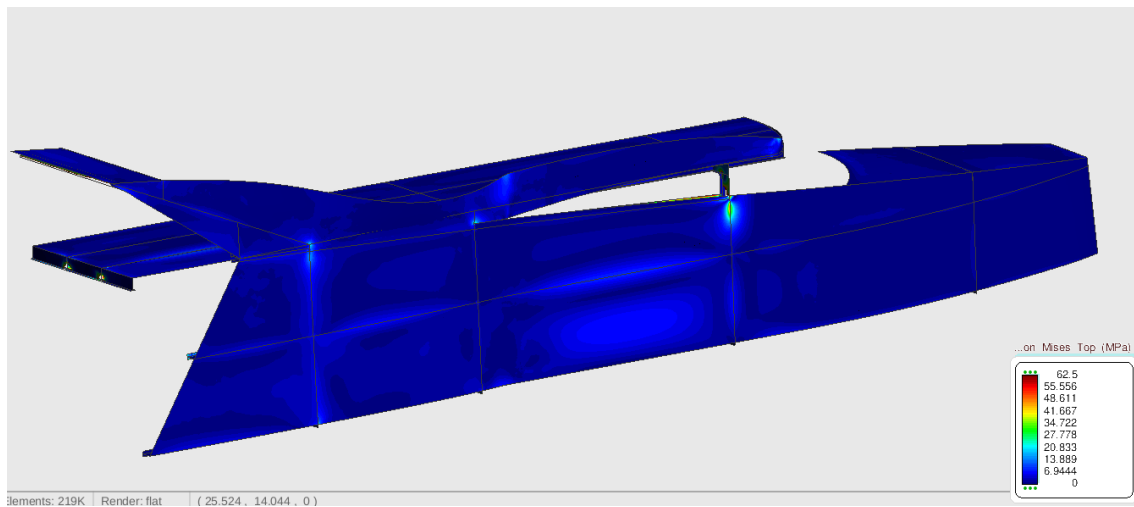


Figura 113 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 62.5 MPa.

En la *Figura 114* se pueden observar las tensiones en los refuerzos de la superestructura. El mapeado se ha realizado en una escala de 0 a 31 MPa y se puede observar que en ningún punto se sobrepasan los 31 MPa. Así que al tratarse de un aluminio con una carga de rotura de 125 MPa se puede afirmar que el coeficiente de seguridad de la estructura es de 4.

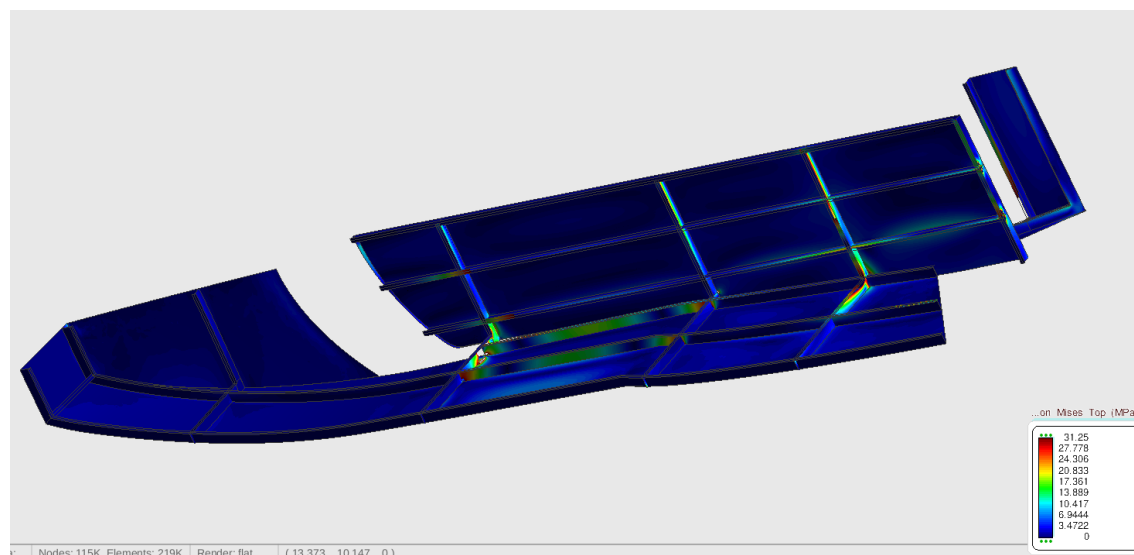


Figura 114 Tensiones de Von Mises con una escala de 0 a 31,25 MPa.

9. Cálculo del centro de gravedad de la embarcación

En el comienzo de este proyecto se explicó que el centro de gravedad de la embarcación se suponía en el 40% de la eslora de flotación, ya que esa se considera la posición más óptima. Cuando el casco se diseñó, se procuró que el centro de flotación de la carena también se encontrase en ese punto, de esta manera el trimado de la embarcación cuando este en reposo será nulo.

De momento se desconoce en qué posición se encuentra el centro de gravedad ya que hay elementos que aún no se han ubicado dentro de la embarcación. Estos elementos son por ejemplo distintos tanques como los de combustible, sentinas, aguas sucias, agua dulce...

Por el momento se puede conocer cuál es el centro de gravedad de la estructura, el de los motores, los generadores y todo el mobiliario. A partir de este dato se deben ubicar los demás elementos para conseguir que el centro de gravedad se encuentre lo más cerca posible del centro de flotación.

9.1 Cálculo del centro de gravedad de la estructura

Una vez ya se ha diseñado la estructura de todo el yate y comprobado que esta puede soportar todas las tensiones a las que se puede encontrar sometida, ya se puede proceder a calcular cual va a ser el centro de gravedad de todo el conjunto.

Para ello se creará una tabla en el programa Excel en la que se especificará la superficie (m^2), el espesor (mm), el volumen (m^3), la densidad (kg/m^3), el peso (kg) y los centros de gravedad (m) respecto la perpendicular de popa de cada uno de los grupos de elementos que conforman la estructura.

Al haber generado el diseño en el software Rhinoceros es muy sencillo calcular la superficie y los centros de gravedad de todos estos elementos. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se obtiene la superficie y el centro de gravedad del grupo de los anillos.

El primer paso es seleccionar las superficies de las cuales se quieren obtener las dimensiones, en este caso los anillos, tal y como se muestra en la *Figura 115*.

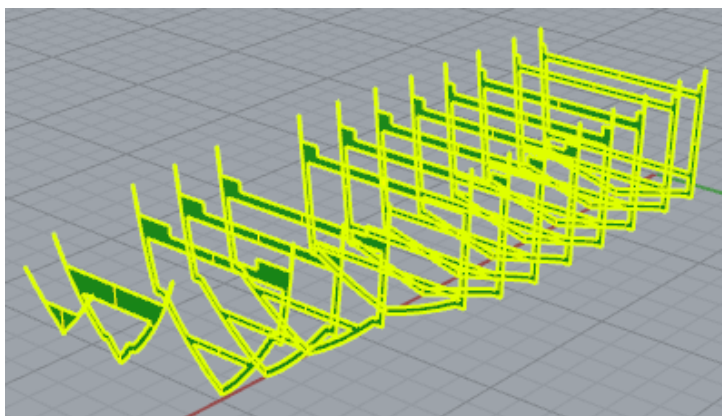


Figura 115 Superficies de los anillos de refuerzo en Rhinoceros.

CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA

Una vez seleccionadas las superficies, con el comando “Área” el programa calcula automáticamente las dimensiones de todas las superficies seleccionada y devuelve el resultado como se muestra en la *Figura 116*.

Área acumulativa = 62.5104692 (+/- 1e-08) metros cuadrados para 13 objetos

Figura 116 Área total calculada en Rhinoceros.

Para el cálculo del centro de gravedad el proceso es muy parecido. Al tratarse de superficies que tienen todas un mismo espesor y la misma densidad, el centro de áreas de todo el conjunto de superficies será equivalente al centro de gravedad. Así que mediante el comando “Centroide de área” el programa devuelve las coordenadas de dicho punto como se muestra en la *Figura 117*.

Centroide de área acumulativo = 11.3088756,1e-08,2.61764562 (+/- 1e-08,2.6e-08,7.8e-08) para 13 superficies

Figura 117 Posición del centroide calculado en Rhinoceros.

Este es el proceso que se debe seguir con cada grupo de elementos para poder obtener todos los datos necesarios para rellenar la *Tabla 6*.

La tabla resultante es la siguiente:

Tabla 6 Tabla de pesos y coordenadas del centro de gravedad de los elementos estructurales.

ESTRUCTURA	m^2	Espesor	m^3	Densidad	Peso	Xg	Zg
Refuerzos longitudinales (casco)	45,62	0,012	0,54744	2698,4	1477,2121	10,77	1,09
Refuerzos longitudinales (cubiertas)	54,4	0,012	0,6528	2698,4	1761,51552	10,57	2,64
Pletinas (casco)	21,27	0,012	0,25524	2698,4	688,739616	10,34	1,97
Pletinas (cubiertas)	17,08	0,012	0,20496	2698,4	553,064064	10,05	2,62
Quilla	10,33	0,012	0,12396	2698,4	334,493664	10,54	0,26
Anillos	62,51	0,015	0,93765	2698,4	2530,15476	11,3	2,62
Mamparos	68,62	0,015	1,0293	2698,4	2777,46312	10,18	2,24
Cubiertas	370,75	0,009	3,33675	2698,4	9003,8862	11,76	3,44
Placas fondo	147,02	0,011	1,61722	2698,4	4363,90645	11,003	0,68
Placas costado	196,09	0,009	1,76481	2698,4	4762,1633	11,84	3,19
Superestructura	199,95	0,005	0,99975	2698,4	2697,7254	10,57	6,4

Una vez obtenida la tabla, es muy sencillo calcular el centro de gravedad longitudinal de todo el conjunto. Este se calcula usando la siguiente fórmula:

$$Xg = \frac{\sum_i \text{Peso}_i * Xg_i}{\text{Peso total}}$$
$$Xg = 11,19 \text{ m}$$

Realizando este cálculo se obtiene que el centro de gravedad longitudinal de la estructura se encuentra a 11,19 metros de la perpendicular de popa.

9.2 Cálculo del centro de gravedad de los motores

El yate dispone de dos motores de la casa Volvo, modelo IPS 1200. El peso de cada uno de estos motores es de 1800 Kg y se encuentran ubicados en la sala de máquinas. Exactamente a 2,23 metros de la perpendicular de popa.

9.3 Cálculo del centro de gravedad de los generadores

La embarcación dispone de dos generadores de corriente que se encuentran dentro de la sala de máquinas y que tienen un peso de 1080 kilogramos. Se sitúan justo al lado de los motores principales y esto quiere decir que su centro de gravedad longitudinal también se encuentra a 2,23 metros de la perpendicular de popa.

9.4 Cálculo del centro de gravedad del mobiliario

Calcular el peso de todo el mobiliario que hay dentro de un buque puede ser un proceso muy largo y tedioso, si a más a más se deben tener en cuenta los centros de gravedad de cada uno de los elementos que lo componen. Es por eso, que para poder calcular el centro de gravedad de todo el mobiliario de las tres cubiertas se realizarán algunas simplificaciones.

Se calculará el peso aproximado de todo el conjunto y se aplicará como si fuese una carga distribuida uniformemente a lo largo de cada una de las cubiertas. De esta forma va a ser posible calcular el centro longitudinal de gravedad calculando el centro de área del conjunto de las tres cubiertas.

Para ello se procede de igual manera que se ha hecho anteriormente para calcular los centros de áreas de todos los elementos estructurales.

El centro de áreas resultante del conjunto de cubiertas se encuentra a 9,75 metros de la perpendicular de popa. Para calcular el peso total del mobiliario se realiza una tabla en Excel con cada uno de los elementos y el peso aproximado de cada uno.

Finalmente, se obtiene un peso de 1210 kilogramos con el centro de gravedad a 9,75 metros de la perpendicular de popa.

9.5 Ubicación del doble fondo y los tanques

En la embarcación se deben ubicar los tanques de combustibles, los piques de proa y popa, el tanque de aguas negras y grises, la sentina y el tanque de agua dulce. Para ello se utilizará el software Maxsurf Stability. La ubicación de todos los tanques, exceptuando los dos piques, será en el doble fondo de la embarcación.

9.5.1 Ubicación del doble fondo

El primer paso es definir todo el espacio del doble fondo. El yate dispone de 1,5 metros de altura de doble fondo. Para definirlo en Maxsurf Stability se debe ir a la pestaña de “Window” – “Input” – “Room definition” y una vez ahí crear un compartimento nuevo. Se le determinan las dimensiones deseadas del compartimento y con el programa se recalcula para que el compartimento se limite a la superficie del casco. En la *Figura 118* se muestra como aparece representado el compartimento en el programa.

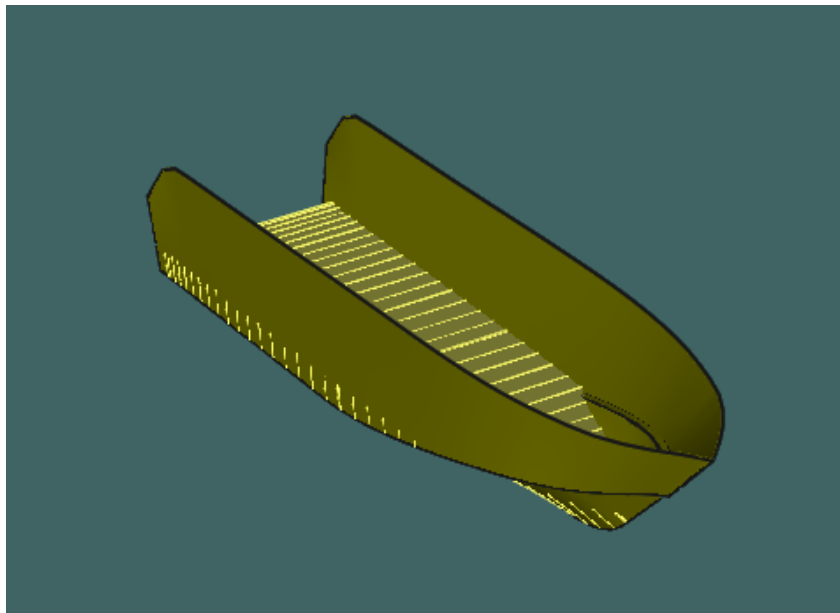


Figura 118 Representación del espacio del doble fondo en Maxsurf.

9.5.2 Ubicación del pique de proa y popa

El siguiente paso es definir en Maxsurf donde se encuentran los piques de proa y popa. Estos espacios, por motivos de seguridad van siempre llenos de agua, normalmente, es por eso que en el programa se definirán como tanques y no como compartimentos.

Del modelado en Rhinoceros se obtiene la altura y longitud del tanque, y en Maxsurf se recalcula para que se adapte a las formas del casco. Se procede de la misma manera para los dos piques.

En la *Figura 119* se muestra como quedan definidos estos dos tanques juntamente con el doble fondo.

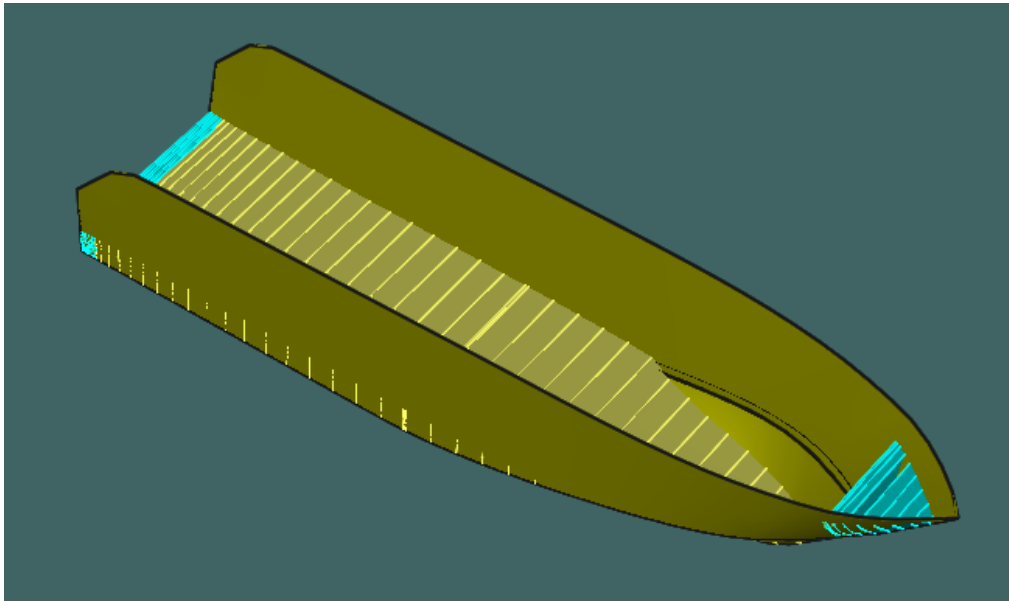


Figura 119 Representación del espacio de doble fondo, pique de proa y pique de popa en Maxsurf.

El volumen de los dos piques se muestra en la *Tabla 7*:

Tabla 7 Tabla de volúmenes de los piques de proa y popa.

Tanques	Volumen (m^3)
Pique de proa	2,012
Pique de popa	3,35

9.5.3 Ubicación de los tanques de combustible

El siguiente paso es ubicar los tanques de combustible dentro de la embarcación. Como el yate dispone de un doble fondo muy grande se ha decidido que los tanques se colocarán ahí. Para aprovechar ese espacio al máximo estos tanques serán estructurales. Al transportar aproximadamente 11 metros cúbicos de combustible, este volumen se dividirá en 3 tanques.

Para definir estos espacios se procede de igual manera que con los piques, y también se deben definir como tanques. Como en esos tanques se transportará una carga bastante pesada, es importante para la estabilidad que se coloquen lo más cerca posible del fondo y que los tanques sean simétricos a estribor y babor.

En la *Figura 120* se muestra como resulta la disposición de los tanques dentro del doble fondo.

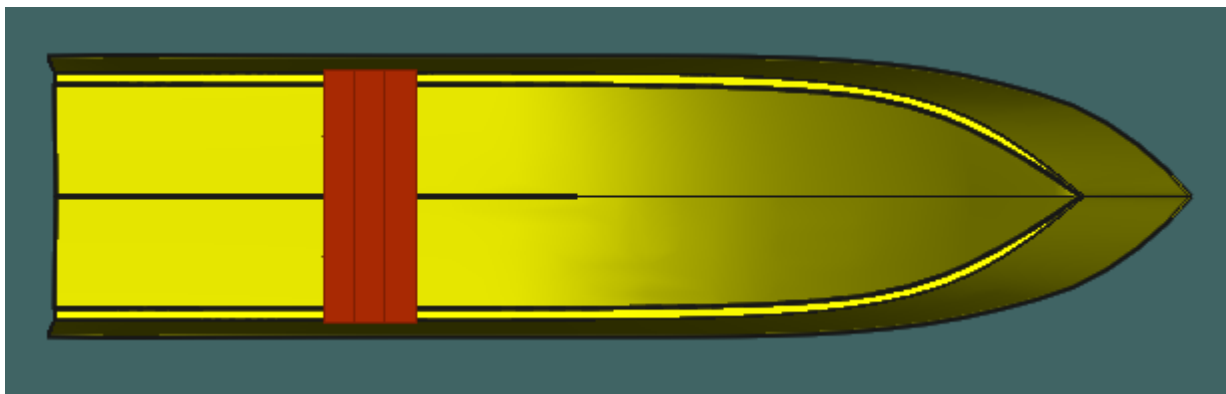


Figura 120 Tanques de combustible representados en Maxsurf.

En la *Tabla 8* se muestra el volumen de cada tanque calculado con Maxsurf:

Tabla 8 Tabla de volúmenes de los tanques de combustible.

Tanques	Volumen (m^3)
Combustible 1	3,85
Combustible 2	3,85
Combustible 3	3,85

9.5.4 Ubicación del tanque de agua dulce

El tanque de agua dulce también se ubicará en el doble fondo, justo debajo de la cámara de máquinas. Debe tener un volumen de $4,8 m^3$ y también será un tanque estructural. De esta forma los espacios se aprovecharán al máximo.

En la *Figura 121* se muestra la ubicación del tanque de agua dulce justo detrás de los de combustible. Es importante destacar que entre los tanques de combustible y los de agua dulce, todo y estar separados, hay un mamparo estanco.

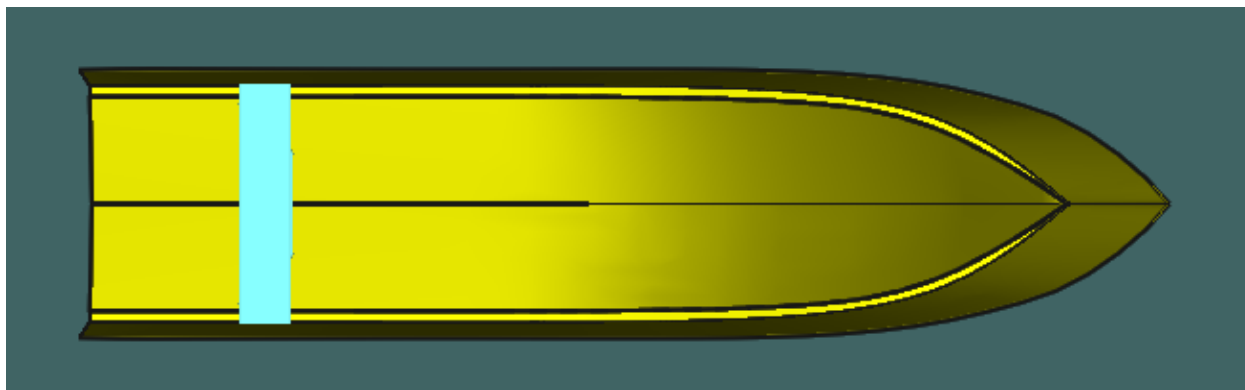


Figura 121 Representación del tanque de agua dulce en Maxsurf.

9.5.5 Ubicación del tanque de aguas grises y negras

Todos los desagües del yate desembocan a un tanque donde se almacenarán los residuos. Estos tanques están provistos de un sistema bacteriano de desinfección que permitirá expulsar el agua una vez tratada. Por especificación del fabricante, todos los residuos se deberán distribuir en dos tanques de $0,75 \text{ m}^3$ cada uno.

Como todos los tanques, al contener una gran cantidad de líquido y tener un peso considerable, es importante que los tanques se sitúen lo más cerca del fondo del yate posible. Es por esto que también se colocará en el doble fondo.

En la *Figura 122* se muestra donde se han colocado los tanques.

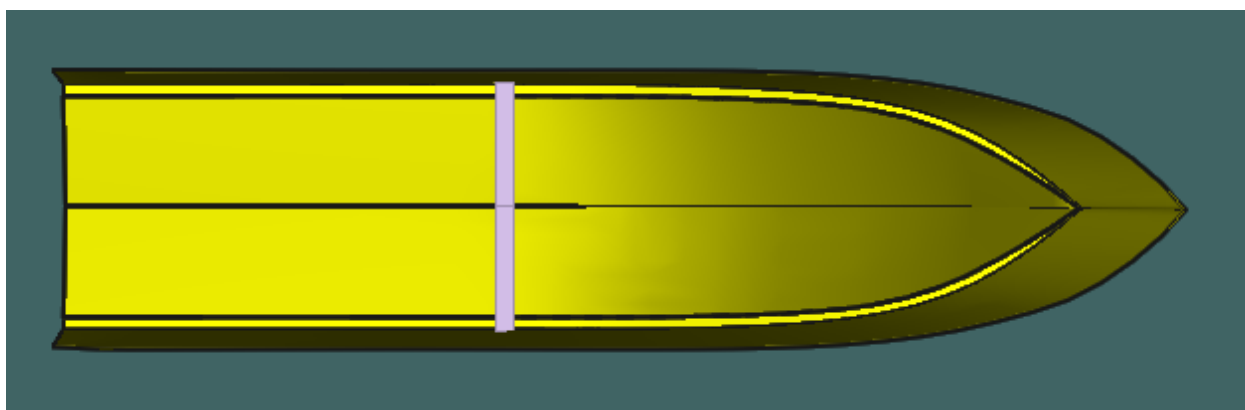


Figura 122 Representación del tanque de tratamiento de aguas residuales en Maxsurf.

9.6 Cálculo del centro de gravedad

A continuación, se calculará el centro de gravedad del yate teniendo en cuenta todos los elementos descritos anteriormente. Es importante que el centro de gravedad se encuentre lo más cerca posible del centro de flotación posible. Para ello, todos los componentes de más peso de la embarcación se deben colocar estratégicamente para que estos dos puntos coincidan.

Otro punto que se debe considerar es que los dos piques deben ir estar llenos. En este caso, el pique de proa irá lleno de agua y el de popa estará repleto de cemento. Esto se ha considerado así para que el centro de gravedad y el de flotación coincidan.

A continuación, se muestra *Tabla 9* con todos los pesos y centros de gravedad de cada uno de los componentes. Estos datos son muy sencillos de conseguir una vez todo se ha definido correctamente en Maxsurf Stability.

Tabla 9 *Tabla de pesos y centros de gravedad de los tanques.*

	Peso (Kg)	Xg (m)
Estructura	30950,32419	11,19213726
Motores	3600	2,23
Generadores	2160	2,23
Mobiliario	1210	9,75
Combustible	9700	7,35
Aguas residuales	1500	10,4
Agua dulce	4800	4,3
Pique de proa	2062,3	23,7
Pique de popa	7370	0,25

Con todos estos datos se procede a calcular el centro de gravedad de todo el conjunto. Para ello se emplea la siguiente expresión:

$$Xg = \frac{\sum_i \text{Peso}_i * Xg_i}{\text{Peso total}}$$

Resolviendo esta ecuación se obtiene:

$$Xg = 8,355 \text{ m}$$

CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA

Ahora este resultado se debe comparar con el centro de la flotación y si están suficientemente alineados. De los datos obtenidos del estudio de carena que se realizó a principios del proyecto se obtiene que el centro de flotación se encuentra a 8,356 metros de la perpendicular de popa.

Se puede afirmar que la distribución de todos los pesos dentro del yate es una de las muchas combinaciones correctas ya que el centro de flotación y el centro de gravedad se encuentran alineados, por lo que el yate no tendrá ningún trimado cuando se encuentre en reposo.

10. Evaluación de la estabilidad

A continuación, se realizará un estudio sobre la estabilidad del yate para verificar que cumple con todos los estándares de seguridad. Para ello, se utilizará la norma UNE-ISO 12217-1 y se realizará el estudio y para ver si se cumple con los ensayos de:

- Altura de inundación
- Ángulo de inundación
- Compensación de pesos
- Resistencia a las olas y al viento

Como no se dispone de la embarcación construida, estos ensayos se realizarán con el programa informático Maxsurf Stability ya que esta herramienta conoce los criterios de la norma.

10.1. Ensayo de la altura de inundación

La finalidad de este ensayo es demostrar que la embarcación dispone de un francobordo suficiente cuando se encuentra en una condición de carga máxima, antes de que se embarque agua a bordo.

El ensayo se debe realizar con las siguientes condiciones:

- Se selecciona a un número de personas igual a la tripulación, y cuya masa no puede ser inferior a los 75 Kg.
- Se carga la embarcación con todos los elementos que constituyen la carga máxima, y con las personas situadas en puntos determinados de forma que se consiga el trimado de diseño.
- Se mida la altura des de la línea de flotación hasta los puntos donde se podría producir una inundación debido a cualquier apertura inundable.

El primer paso es definir los posibles puntos de inundación de la embarcación. Estos son:

- La entrada a la embarcación por cubierta
- La ventilación de la sala de motores

En las *Figuras 123 y 124* se pueden ver la localización de las aperturas inundables mencionadas anteriormente en perfil y planta.

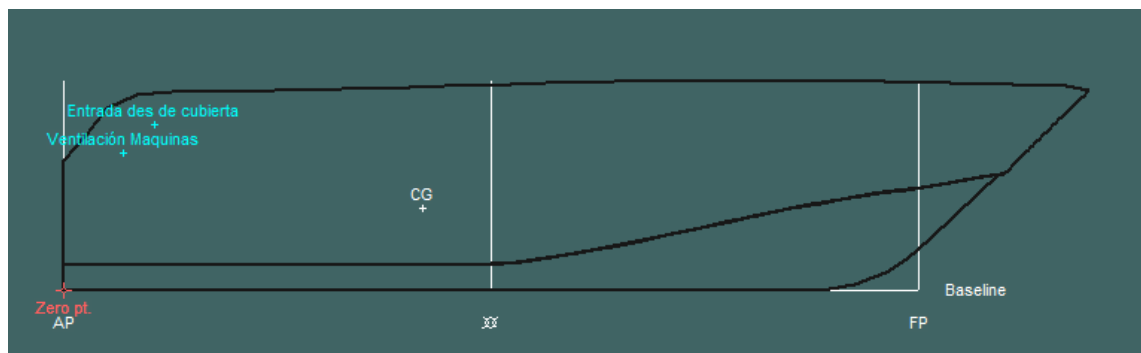


Figura 123 Localización de las aperturas inundables en el perfil.

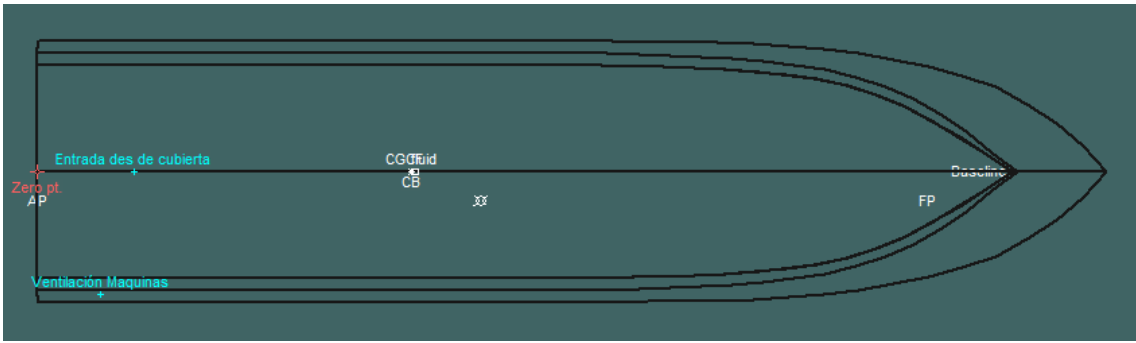


Figura 124 Localización de las aperturas inundables en la planta.

Finalmente se verifica que los puntos de inundación de la embarcación superan la altura mínima calculada. Los resultados se muestran en la *Tabla 10*.

Tabla 10 Resultados del ensayo de la altura de inundación.

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	12217-3: Non-sailing boats	6.2.2 Downflooding height at e				Pass	
2		the min. freeboard of the	DownfloodingPoints				
3		shall be greater than (>)	0,500	m	2,538	Pass	+407,60
4							

La

altura de inundación más crítica se sitúa a 2,538 y es superior a la altura mínima que define la norma.

10.2. Ángulo de inundación

Este ensayo sirve para verificar que existe un margen suficiente del ángulo de escora antes de que puedan embarcar cantidades significativas de agua en el yate.

Utilizando las normativas que se pueden aplicar en Maxsurf, se define una condición de carga, que debe ser una condición mínima operacional.

La normativa define que la embarcación debe poder escorar hasta 40 grados sin que exista la posibilidad se que se embarque agua.

El primer paso es definir el tipo de análisis que se realizará en Maxsurf. En este caso “Large Angle Stability” y definir en la opción “Criteria” la normativa ISO a cumplir. Ahora ya se puede iniciar el cálculo.

El resultado se muestra en la *Tabla 11*:

Tabla 11 Tabla de resultados del ensayo del ángulo de inundación.

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-2:2002(E)	6.2.3 Downflooding angle				Pass	
2		shall be greater than (>)	40,0	deg	53,4	Pass	+33,59
3							

El ángulo mínimo de escora según la norma debe ser de 40 grados y según el estudio no embarcará agua en la embarcación hasta que la escora sea de 53,4 grados o superior. Se puede afirmar que se cumple con la norma.

10.3. Ensayo de compensación de pesos

En este ensayo se comprueba que la embarcación tiene una estabilidad suficiente ante un movimiento de pesos provocado por la tripulación. Este ensayo tiene en cuenta los riesgos de inundación debido a un ángulo excesivo de escora, y la pérdida de estabilidad por un par de escora excesivo que supere el par de adrizamiento máximo de la embarcación.

Para el análisis de este ensayo se parte de la embarcación en máxima carga, excepto los tanques que se encontraran al 50% de su capacidad máxima. También se debe tener en cuenta que el centro de gravedad de los tripulantes, que será de 75 kilogramos por persona, se debe colocar en la parte más alta y a 0,1 metros por encima de la superficie donde vayan a permanecer.

Se realizarán dos ensayos con condiciones distintas:

- Ensayo 1: En el primer ensayo, el centro de gravedad longitudinal de la tripulación se situará en el 75% de la eslora de la zona donde la tripulación puede acceder y el centro transversal se colocará en el límite de la manga. Esto quiere decir (*Tabla 12*):

Tabla 12 Posición del centro de gravedad de la tripulación durante el ensayo.

X_g	18,32 m
Y_g	3,2 m
Z_g	4,6 m

- Ensayo 2: En el segundo ensayo, el centro de gravedad longitudinal de la tripulación se ubicará al 25% de la eslora de la zona donde la tripulación puede acceder y con el centro de gravedad transversal al límite de la manga. Esto quiere decir (*Tabla 13*):

Tabla 13 Posición del centro de gravedad de la tripulación durante el ensayo.

X_g	6,76 m
Y_g	2,8 m
Z_g	4,5 m

CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA

Para la verificación del ensayo se utiliza Maxsurf Stability, donde una vez definidas las condiciones de carga Ensayo 1 y Ensayo 2, se exponen los resultados en las *Tablas 14 y 15*.

Tripulación al 75% de la eslora

Tabla 14 Resultados del ensayo de compensación de pesos al 75% de la eslora.

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - heel at equilibrium				Pass	
2		the angle of	Heel				
3		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	1,5	Pass	+85,31
4							

Tripulación al 25% de la eslora

Tabla 15 Resultado del ensayo de compensación de pesos al 25% de la eslora.

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - heel at equilibrium				Pass	
2		the angle of	Heel				
3		shall not be greater than (\leq)	10,0	deg	1,3	Pass	+87,09
4							

Se puede observar que, en las dos condiciones, el ensayo cumple con lo especificado en la norma. Se podrían buscar otros casos de carga más críticos que los calculados, pero viendo los resultados se obtiene un margen de seguridad más que suficiente.

10.4. Resistencia a las olas y vientos

Este ensayo sirve para analizar la estabilidad de la embarcación cuando el viento incide desde el costado y las olas hacen balancear el barco hacia barlovento. En estas condiciones, la escora de la embarcación no debe sobrepasar el ángulo de inundación más crítico.

Este requisito debe ser evaluado según los siguientes apartados de la norma:

- Balance transversal debido a las olas y viento
- Resistencia a las olas

Estos ensayos se deben realizar en la condición mínima operativa, donde se debe considerar a la tripulación situada en el puesto de gobierno más elevado que pueda albergar el número de personas correspondientes.

Los dos ensayos correspondientes, el de resistencia a las olas y viento, se realizarán con Maxsurf Stability.

10.4.1. Balance transversal debido a las olas y viento

Se deben introducir los datos que requiere el programa y proceder al cálculo. Los resultados son los mostrados en la *Tabla 16*:

Tabla 16 *Tabla de resultados del ensayo de balance transversal debido a las olas y viento.*

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Wind heeling arm					
2		$Wind\ arm = a \cdot v^2 \cdot A \cdot (h - H) / (g \cdot disp.) \cdot \cos^n(\phi)$					
3		constant: $a (0.5 \cdot \rho_{air} \cdot C_d) =$	0,0003	tonne/m ³			
4		wind velocity: $v =$	54,428	kn			
5		approx. area centroid height: $h = A/Lwl + Tmid$	5,913	m			
6		total area: $A =$	104,520	m ²			
7		height of lateral resistance: $H =$	0,000	m			
8		cosine power: $n =$	0				
9		gust ratio	1				
10		Intermediate values					
11		Heel arm amplitude		m	0,208		
12							
13	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.2 Rolling in beam waves and wind				Pass	
14		6.3.2 Wind heeling arm (steady)					
15		Area1 integrated from the greater of					
16		spec. heel angle	25,0	deg	25,0		
17		to the lesser of					
18		spec. heel angle	50,0	deg	50,0		
19		first flooding angle of the DownfloodingPoints	n/a	deg			
20		angle of vanishing stability (with heel arm)	100,0	deg			
21		Area2 integrated to the lesser of					
22		roll back angle from equilibrium (with heel arm)	25,0 (-20,1)	deg	-20,1		
23		Area1 / Area2 shall be greater than (>)	100,00	%	225,87	Pass	+125,8
24		Intermediate values					
25		Equilibrium angle with heel arm		deg	4,9		
26		Area1 (under GZ), from 25,0 to 50,0 deg.		m.deg	19,0772		
27		Area1 (under HA), from 25,0 to 50,0 deg.		m.deg	5,1397		
28		Area1, from 25,0 to 50,0 deg.		m.deg	13,9375		
29		Area2 (under GZ), from -20,1 to 25,0 deg.		m.deg	3,1036		
30		Area2 (under HA), from -20,1 to 25,0 deg.		m.deg	9,2742		
31		Area2, from -20,1 to 25,0 deg.		m.deg	6,1706		

Y como se puede observar son satisfactorios.

10.4.2. Resistencia a las olas

La condición para el ensayo de resistencia a las olas, estipula que cuando el momento máximo del par adrizante ocurre con un ángulo de escora de 30 grados o más, el valor de GZ con 30 grados no debe ser menor de 0,2 metros y el valor del par adrizante debe ser mayor que 25 kNm.

Los resultados procesados en Maxsurf Stability, que resultan ser satisfactorios y cumplen con un generoso margen de seguridad, son los mostrados en la *Tabla 17*:

Tabla 17 *Tabla de resultados del ensayo de resistencia a las olas.*

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)				Pass	
2		heel angle at which required GZ is constant	30,0	deg			
3		required value of GZ at this angle is	0,200	m			
4		limited by first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
5		GZ at 30,0 deg shall be greater than (>)	0,200	m	0,708	Pass	+254,00
6		Intermediate values					
7		angle at which max. GZ occurs		deg	76,4		
8							
9	ISO 12217-1:2002(E)	6.3.3 Resistance to waves (Value of RM)				Pass	
10		heel angle at which required RM is constant	30,0	deg			
11		required value of RM at this angle is	25000,000	N.m			
12		limited by first flooding angle of the Downflood	n/a	deg			
13		RM at 30,0 deg shall be greater than (>)	25000,000	N.m	500899,476	Pass	+1903,60
14		Intermediate values					
15		angle at which max. GZ occurs		deg	76,4		
16							

CAPITULO 2: SISTEMAS A BORDO

Desde tiempos inmemoriales el ser humano ya utilizaba un tronco debidamente tallado como medio de transporte en el agua. Desde entonces se han hecho grandes avances con lo que refiere a materiales, técnicas de construcción, formas, etc. Gracias a todo eso, las naves actuales son capaces de realizar grandes rutas alrededor del mundo, y durante estas, un factor clave es el buen funcionamiento del buque (propulsión, gobernabilidad, maniobra, etc.) y la calidad de vida a bordo. Para lograr dichas cosas, se equipa cada nave con gran cantidad de sistemas interconectados entre sí o independientes que entre todos ellos confieren las condiciones necesarias para convertir un casco de metal en un buque.

En la primera parte de este trabajo, se ha relatado todo el proceso llevado a cabo para proyectar, diseñar y validar una configuración estructural y unas formas adecuadas para un casco de un yate de 26 metros de eslora. Desde encontrar las dimensiones principales, hasta encontrar los espesores requeridos para que el casco soporte todos los esfuerzos a los que estará sometido pasando por encontrar unas formas que le permitan flotar adecuadamente, una navegación cómoda y una resistencia al avance mínima.

Ahora, en esta segunda parte, el objetivo es dotar a dicho casco de los sistemas que le confieran la comodidad y operatividad necesarias para convertirlo en un yate de lujo.

Para una embarcación de estas características, se han enumerado como necesarios los siguientes:

Sistema contra incendios

Sistema de achique

Sistema de fondeo y amarre

Sistema de climatización

Sistema de agua potable

Sistema sanitario

Sistema eléctrico

Sistema propulsivo y de gobierno

Sistema de combustible

Para la realización del diseño de estos sistemas hace falta tener en cuenta que algunos tienen normativas que rigen sus características. Otros en cambio proporcionan bastante libertad con lo que a su diseño refiere.

Una vez hecho el dimensionamiento de los sistemas y equipos que los componen, se ha generado un modelo BIM para la puesta en común de todos ellos junto con la arquitectura proyectada para la embarcación.

BIM

El modelado de información de construcción (BIM, Building Information Modeling), también llamado modelado de información para la edificación, es el proceso de generación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. Este proceso produce el modelo de información del edificio (también abreviado BIM), que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes.

Para este proyecto, se recibió la sugerencia de realizar un modelo BIM por parte del asesor, así que pasó a ser un objetivo el hecho de generar un modelo del yate. Para dicho propósito se empleó un software de Autodesk llamado Revit, el cual te permite realizar este tipo de proyectos. Revit es un software muy completo que te permite realizar infinidad de cosas con lo que a la arquitectura refiere, se podría incluso decir, que permite tantas opciones que lo hace difícil de manejar. Con el objetivo de generar el modelo BIM del yate y sus sistemas, se asumió el reto de aprender a manejar un programa completamente nuevo para la totalidad de los integrantes del grupo. Des de 0, sin ayuda externa, y con menos de 3 meses por delante, se asumió el reto del que a continuación se muestran los resultados.

NOTA GENERAL

Cuando los sistemas de tuberías se disponen para pasar a través de mamparos o cubiertas estancas, se tiene que prever la integridad del mamparo o cubierta por medio de piezas del mamparo metálicas. Las piezas del mamparo tienen que protegerse contra la corrosión y construirse de forma que tengan una resistencia equivalente al mamparo intacto. En todas las zonas del circuito donde se atraviesa un mamparo va equipado con un pasamamparo.

11. Sistema contra incendios.

Cuando se tiene una embarcación de recreo es para disfrutarla al máximo y para hacerlo, es esencial la tranquilidad frente a los peligros que implica la navegación. Uno de ellos y quizás el más temido y catastrófico es el fuego. Es por eso que todo el mundo se hace la siguiente pregunta: ¿Pueden coexistir el lujo y la protección contra incendios de alto rendimiento? Absolutamente sí.

11.1. Agua nebulizada

Hoy en día, los sistemas contra incendios más utilizados en los yates de lujo son los circuitos de rociadores de agua. La eficacia del agua se basa en la acción conjunta de 3 acciones diferentes:

Enfriamiento por absorción del calor, **evaporación**.

Atenuación de la transmisión de calor, **radiación**.

Desplazamiento del oxígeno en el foco del fuego, **dilución**.

Tradicionalmente en los sistemas de baja presión, los rociadores trabajan de manera que empapan las superficies en combustión. Descargan una gran cantidad de agua que apaga el incendio de manera gradual empapando los materiales en combustión y los alrededores del incendio. Desafortunadamente, estos sistemas pueden causar daños colaterales de importancia, incluso mayores a los daños que el incendio haya podido provocar por él mismo.

Es por eso que se ha ido un paso más allá y se aplicará un sistema contra incendios de rociadores de agua nebulizada. El agua nebulizada es un sistema de control y extinción del fuego. Utiliza el agua dividida en gotas de tamaño inferior a 1000 micras (*Figura 125*), de ésta manera, se produce el enfriamiento del fuego, el desplazamiento del oxígeno por parte del vapor generado y la atenuación del calor radiante. Cuando el sistema se activa, al instante ataca al fuego con agua nebulizada a alta presión que penetra en la llama.

El recinto se enfría rápidamente sin dañar los materiales a proteger. Con una pequeña cantidad de agua el incendio es sofocado antes de que se extienda y cause daños mayores.



Figura 125 Comparación del tamaño de las gotas expulsadas según el tipo de rociador y sistema.

Tanto la norma **NFPA 750**, junto con la **NFPA 302** y la **EN14972** establecen los criterios mínimos para la utilización del agua nebulizada y su instalación. Los diseños e instalaciones deben hacerse de acuerdo a ella, teniendo en cuenta las directrices y diseño de los fabricantes, que deberán disponer de los documentos, ensayos, manuales de montaje, uso y ubicación de sus equipos según los riesgos ensayados.

11.1.1. Beneficios del agua nebulizada.

El hecho de emplear un sistema de extinción de incendios mediante rociadores de agua nebulizada, comporta consigo una serie de beneficios además de los ya mencionados.

- Economía del agente extintor.
- Causa daños mínimos en el riesgo protegido.
- 100% ecológico.
- Inocuidad para el personal expuesto y para los equipos protegidos.
- Reducción drástica de la temperatura del riesgo protegido.
- Eficaz para fuegos líquidos, inflamables y profundos.
- Control de humos y gases tóxicos.
- No necesita estanqueidad al 100% del recinto.
- Facilidad de recarga y mantenimiento

11.2. Componentes del sistema.

Como proveedor de los equipos necesarios para la instalación de este sistema en el yate, se ha seleccionado HI-FOG. El sistema a instalar está compuesto por los siguientes componentes.

- Boquillas nebulizadoras cerradas
- Tuberías
- Equipo de bombeo
- Suministro de agua

11.2.1. Boquillas nebulizadoras cerradas.

Los nebulizadores normalmente se utilizan en sistemas donde la activación térmica de los mismos es el detonante de la descarga. El bulbo de cristal termosensible explota a una temperatura determinada (HI-FOG® ofrece cinco opciones estándar que van desde 57 hasta 141 °C), y esto abre la válvula de distribución, que permite al agua a alta presión pasar a través de las micro boquillas.

Los nebulizadores están formados por el cuerpo del nebulizador, la válvula de distribución, micro boquillas y un bulbo de cristal termosensible. Cada nebulizador está equipado con un filtro de 300 µm como protección contra las obstrucciones. La mayor parte de los nebulizadores de 300 µm están fabricados de latón y recubiertos con cromo o níquel.

La elección de éste tipo de boquillas frente a las abiertas, se debe a que éstas se activan de forma autónoma en el momento en el que la temperatura supera el umbral marcado por el disparador de cristal termosensible y permite una actuación focalizada del sistema.

Así pues, no es necesario instalar otros sensores de humos o temperatura, y se evita una activación total del sistema. Es decir, si se produce un fuego en un camarote, se activarán los rociadores de ese camarote solamente, en cambio, con las boquillas nebulizadoras abiertas, con la detección de humo, por parte de sensores adicionales, se activarían todos los rociadores. Tal cosa no se cree necesaria para este caso. En la *Figura 126* se muestra una boquilla nebulizadora cerrada.



Figura 126 Boquilla nebulizadora cerrada.

11.2.2. Tuberías.

Todas las tuberías que se utilizan en las partes a alta presión del sistema están fabricadas con acero inoxidable AISI 316L y los accesorios de alta presión necesarios para completar la red de tuberías y montar las boquillas nebulizadoras, los proporciona Marioff.

HI-FOG combina seguridad y elegancia en un sistema de protección contra incendios eficiente y compacto.

Las tuberías utilizadas en este tipo de sistemas de agua nebulizada son muy pequeñas en comparación con las tuberías de los sistemas tradicionales de rociadores, son de muy reducido diámetro y se pueden ocultar en espacios pequeños. Además, la instalación es rápida, ya que los tubos se pueden doblar y no son necesarios los accesorios mecánicos complicados, como las rótulas. Todos los tubos y accesorios están clasificados para los trabajos a alta presión.

11.2.3. Equipo de bombeo.

Los equipos de bombeo son una parte esencial para el rendimiento del sistema, ya que son los encargados de generar la presión necesaria en el fluido para que las boquillas nebulizadoras pulvericen el agua de forma correcta y eficaz, y deben funcionar de manera consistente y fiable. El tipo y el tamaño del equipo de bombeo se seleccionan de acuerdo con el tipo de riesgo y las zonas que se deben cubrir.

En este caso se opta por la Sprinkler Pump Unit (SPU). Es un equipo de bombeo eléctrico adecuado para numerosas aplicaciones distintas.

Se puede fabricar a medida en una amplia gama de tamaños y configuraciones diferentes, y cada equipo se puede diseñar para estar conectado a la toma de corriente principal y a los suministros de emergencia. Las SPU pueden proporcionar una operación continua mediante depósitos de agua o con una alimentación externa de agua para ampliar la protección.

Los equipos de bombeo son autónomos y están equipados con un depósito de agua y un armario eléctrico, además de poder añadir un separador de agua opcional. También se puede proporcionar un motor eléctrico adicional de redundancia.

La SPU a instalar constará de dos módulos de bombeo, uno para cada cubierta.

En la *Figura 127* se muestra un ejemplo de SPU.



Figura 127 Estación de bombeo, con tres módulos.

11.2.4. Suministro de agua.

La solución propuesta para el sistema anti incendios es muy flexible en cuanto al suministro de agua por el hecho de utilizar muy pequeñas cantidades de la misma. El sistema será alimentado a través de agua de mar captada por la toma de mar y convenientemente filtrada para evitar posibles obstrucciones.

Como se ha elegido boquillas nebulizadoras cerradas, debe haber agua y presión en los conductos en todo momento. Es por eso que el circuito permanecerá lleno y cebado con agua dulce para evitar de esta forma tener agua de mar estancada en las bombas y tuberías y la consecuente corrosión y deterioro que ello conlleva.

A continuación, se muestra la distribución de los rociadores y los circuitos de alimentación en las Figuras 128, 129 y 130.

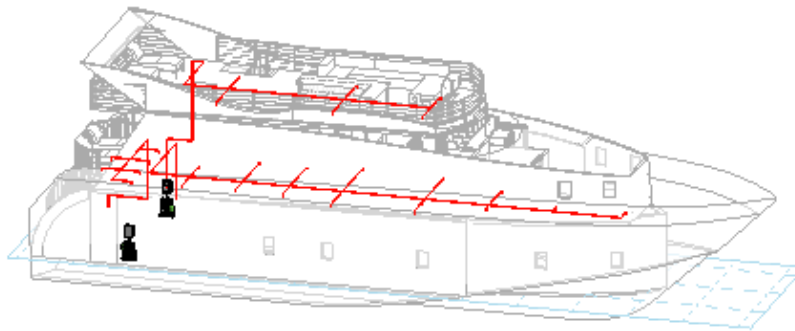


Figura 128 Distribución general del sistema contra incendios.

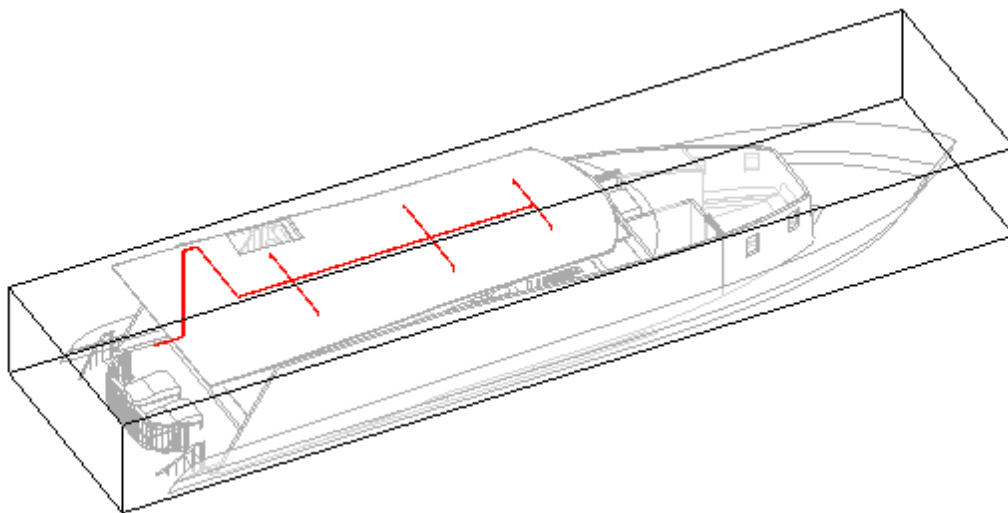


Figura 129 Detalle de la distribución de los rociadores en la cubierta principal.

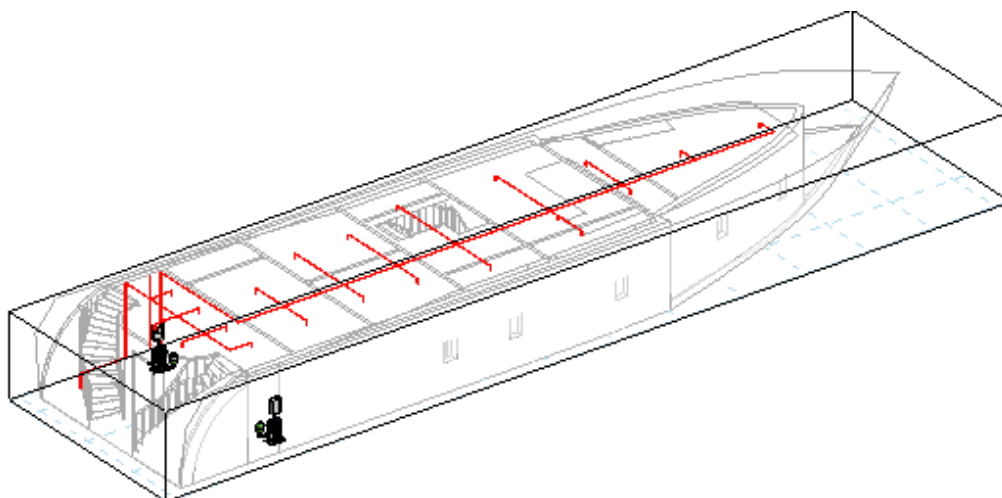


Figura 130 Detalle de la distribución de los rociadores en la cubierta inferior.

11.3. Sistema contra incendios en cámara de máquinas.

En una embarcación de recreo, los sistemas de tubería húmeda se utilizan normalmente en zonas de alojamientos y similares, donde materiales sólidos son los medios combustibles. Cuando la temperatura ambiente excede un límite determinado, el bulbo de activación en el nebulizador cerrado explota y el agua nebulizada se descarga por esa boquilla en particular. Sin embargo, hay ocasiones en que es preferible que el agente extintor no sea el agua, por diminutas que sean las gotas de esta. Un claro ejemplo de ello es la cámara de máquinas, donde se encuentran los motores principales, estaciones de bombeo, generadores eléctricos y los cuadros de distribución de energía eléctrica. La solución se encuentra en los sistemas de extinción de incendios por gases.

Los sistemas de extinción de incendios por gases son sistemas limpios que no provocan daños materiales ni eléctricos. En los últimos años han ido evolucionando notablemente: no son dañinos para el medio ambiente y cumplen el protocolo de Kioto.

Estos sistemas de protección contra incendios se utilizan mediante instalaciones fijas de extinción, basadas en agentes gaseosos que proporcionan una protección contra incendios para la vida humana y bienes materiales. La técnica principal de los sistemas anti incendio por gases se basa en la reducción de la concentración de O₂ y la absorción del calor.

11.3.1. Rango de aplicación

Los sistemas de extinción de incendios por gases se diseñan en base al volumen a proteger pudiendo ser un sistema de actuación por aplicación local o inundación total según sea el riesgo a proteger.

Se denomina sistema de extinción por gases de aplicación local o parcial cuando se protege un espacio abierto en el que el riesgo de incendio está definido empleándose gases licuados para la correcta extinción del incendio que incidirán directamente sobre el riesgo a proteger. En este caso los ejemplos más ilustrativos son cuadros eléctricos en el interior de una sala, protegiéndose únicamente el interior de los cuadros, campanas de cocina, etc.

Se denomina sistema de extinción por gases de inundación total cuando se protege un espacio cerrado en el que el riesgo de incendio puede ser por causas múltiples empleándose gases que inundarán totalmente el recinto. En este caso un ejemplo sería la protección total de una sala de máquinas de un yate.

Las normativas para el diseño de sistemas de extinción de incendios por sistemas de extinción de incendios por gases son básicamente: UNE 23570 a 23577, NFPA 2001, ISO 14520, NFPA 12 o CEPREVEN R.T.4.

11.3.2. Componentes del Sistema.

- Cilindro o batería de cilindros en el que se contiene el gas agente extintor a alta presión. Su contenido y número depende del volumen de los cilindros, del gas y de la presión de carga.
- Red de tuberías por el que discurre el gas, que normalmente se trata de tubería y accesorios especiales para trabajar a altas presiones.
- Red de boquillas o difusores que descargan el agente extintor sobre el riesgo a proteger, especialmente calibrados en función del cálculo hidráulico de descarga previamente establecido.

Además de los elementos anteriormente enumerados, el sistema de extinción de incendio por gas irá asociado a un sistema de detección automático que en caso de detectar un incremento de temperatura, humo o chispa activará la descarga del gas. Los sistemas empleados serán sistemas cruzados (necesidad de la activación de 2 detectores) de detección puntual con los que se asegura la imposibilidad de disparos fortuitos o falsas alarmas, etc. Finalmente cabe decir que esta descarga irá precedida de una alarma acústica y luminosa, para previamente asegurar que todo el personal haya evacuado la sala de máquinas y que todas las ventilaciones y puertas de esta permanecerán cerradas.



Figura 131 Botellas de gas extintor conectadas a un colector y a unos rociadores.

11.3.3. Tipos de gases.

Existen diferentes agentes gaseosos extintores según sea el riesgo y productos a proteger, pudiendo clasificarse 3 tipos: CO₂ (el más habitual pero también el más peligroso para las vidas humanas ya que este tipo de sistema se basa en el desplazamiento de oxígeno, GASES INERTES (Mezclas de Argón y Nitrógeno) y GASES LIMPIOS (HFC's) siendo los más habituales el HFC23 (también conocido comercialmente como FE13) Y EL HFC227ea (también conocido comercialmente como FM200 o FM 200).

- **Anhídrido Carbónico CO₂:**

Apagan el fuego reduciendo la cantidad de oxígeno hasta niveles en los que no se sostiene la combustión.

Son peligrosos para las personas, por tanto, no es recomendable para extinción de incendios con ocupación de personas.

Se almacenan como gases licuados.

Se emplean en incendios y riesgos eléctricos.

Necesitan concentraciones elevadas.

- **Gases Inertes**

El oxígeno en el aire se ve desplazado hasta que la concentración del oxígeno ya no presenta el valor suficiente como para permitir la combustión.

No producen combinaciones ni composiciones químicas.

Producen una extinción limpia sin residuos.

Requieren de concentraciones elevadas.

Se almacenan como gases comprimidos a presión.

Se emplean en riesgos eléctricos donde no es posible la limpieza de los bienes protegidos, áreas desocupadas.

- **Gases Fluorados (HFC's)**

Se emplean directamente contra el fuego.

Necesitan concentraciones relativamente bajas

Apagan el fuego por enfriamiento de la llama

Se almacenan como gases licuados

Se emplean en riegos eléctricos dónde no es posible la limpieza de los bienes protegidos, en áreas ocupadas (poseen una baja toxicidad para las personas)

Son dañinos para la capa de ozono, contribuyendo al efecto invernadero.

Barajados los pros y los contras, se optará por el CO₂ como agente extintor para el sistema del diseño. Pese a su toxicidad, su bajo precio, su eficacia, y la facilidad de almacenaje de este en grandes cantidades como gas licuado lo convierten en la mejor opción para este cometido. Con los respectivos protocolos y medidas de seguridad, no debería suponer ningún peligro para la integridad de las personas a bordo.

11.3.4. Cantidad de gas requerida

En capítulo II-2 del convenio SOLAS, en el punto 2.2 de la regla 5 se indica textualmente:

2.2

.1 El 40% del volumen bruto del mayor espacio de máquinas así protegido, excluyendo el guardacalor que quede encima del nivel en que el área horizontal del guardacalor sea igual o inferior al 40% del área horizontal del espacio considerado, medida a la distancia media entre la parte superior del tanque y la parte más baja del guarda calor; o

.2 el 35% protegido del volumen total del mayor espacio de máquinas así protegido, comprendiendo el guardacalor. 2.3 A los efectos del presente párrafo el volumen de anhídrido carbónico libre se calculará a razón de 0,56 m³/kg.

Tiempo máximo de descarga.

En capítulo II-2 del convenio SOLAS, en el punto 2.2 de la regla 5 se indica textualmente:

2.4 Para espacios de máquinas, el sistema de tuberías fijo será de tal que en no más de 2 minutos se pueda descargar el 85% del gas dentro del espacio considerado.

Calculo de la cantidad necesaria de gas.

Se harán los cálculos de la cantidad de dióxido de carbono mínimo necesario para inundar los espacios protegidos, basándonos en la reglamentación indiada en el capítulo anterior.

Todo lo calcularemos en base a cilindros de CO₂ de 67 lt / 45 kg.

El espacio a proteger es la sala de máquinas del yate cuyo volumen se puede extraer de los planos.

Volumen en sala de máquinas	= 60,49 m ³
Masa de CO ₂ para el 100% del volumen	= 108,02kg
Masa de CO ₂ para el 40% del volumen	= 43,21 kg
Masa a descargar en menos de 2 minutos	= 36,73Kg
Número de botellas de 45kg necesarias	= 1

12. Sistema de achique.

Todos los buques deben lograr agotar y bombear cualquier compartimento estanco que no esté dedicado de manera permanente a contener agua, combustible, aceite o cualquier otro tipo de líquido.

El agua que se va a extraer puede entrar en el interior del buque por diversas causas como golpes de mar, pérdidas de circuitos de tuberías inferiores y vías de aguas entre otros.

Para la seguridad del buque, tanto el Convenio de Seguridad de la Vida en la Mar como los Reglamentos de las Sociedades de Clasificación, determinan los medios y sistemas que deben instalarse a bordo para llevar a término dicha operación.

Respecto a la posición que pueda ocupar el agua en el interior de un buque, se considerarán tres tipos de espacios diferentes:

1. En tanques colocados expresamente para contenerla, como son los tanques de lastre, tanques de agua potable, tanques de compensación, etc.
2. En espacios situados debajo de la cubierta de francobordo, espacios dentro de superestructuras intactas o en casetas de cubierta provistas de puertas eficientemente estancas al agua.
3. En el resto del buque.

El agua que ocupa el tercer punto puede devolverse fácilmente al mar por gravedad a través de las portas de desagüe e imbornales colocados al efecto. El agua que se introduce en los espacios mencionados en el segundo punto ha de ser achicada por medios mecánicos, ya que se encuentra por debajo de la línea de flotación. Por gravedad puede hacerse descender a la parte inferior del buque donde se encuentran las sentinas o pozos de sentinas. Desde este punto se achica por medio de bombas o eyectores que la expulsan al mar. Así pues, definiremos las sentinas como la superficie interior de los fondos de los compartimentos del buque. En ellas, se escurren las aguas y líquidos que por cualquier causa escapan de sus compartimentos o se introducen desde el exterior.

Los medios y sistemas requeridos por el SEVIMAR y las Sociedades de Clasificación para achicar un espacio dependen de la importancia que dicho espacio tenga respecto de la seguridad del buque.

El sistema de achique que se va a instalar en el yate va a prescindir de separador de sentinas. Este va ser omitido, pero como no se puede achicar el agua de las sentinas directamente al mar, se dispondrá un tanque de sentinas en el doblefondo de la embarcación, que será vaciado una vez se llegue a puerto.

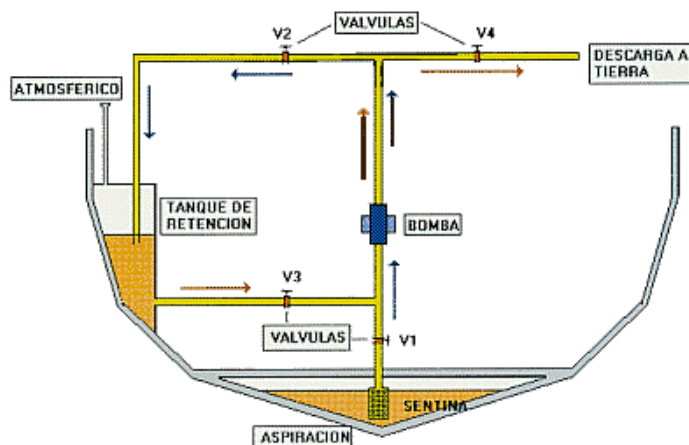


Figura 132 Esquema de un sistema de achique sin separador de sentinas.

12.1. Equipos a instalar

Para generar la succión necesaria a la hora de achicar la sentina, se dispondrán dos bombas (habrá dos más de respeto) autoaspirantes centrífugas. Las escogidas son unas bombas autoaspirantes centrífugas de canal lateral, de la marca Blau Naval, modelo TS 40 como se muestra en la *Figura 133*. Son de un diseño muy robusto y de alta calidad de construcción en bronce marino. Están diseñadas para aplicaciones de uso profesional-continuo para poder generar altas presiones a bajas revoluciones rpm. Dando lugar a unas curvas extremadamente rápidas que permiten solucionar numerosos problemas de bombeo. Tienen una aspiración muy rápida y cabe destacar el uso de un sello especial anticorrosión inoxidable de cerámica-grafito.

Recomendación del fabricante Hay que llenar de agua en el primer arranque o después de largo tiempo sin uso. Es aconsejable instalar un filtro de aspiración para la protección de partículas. Y es muy útil instalar la sección del tubo de impulsión verticalmente para mantener el cuerpo lleno de agua en paro.



Figura 133 Bomba TS40 de la marca Blau Naval.

Estas bombas se han tenido en cuenta a la hora de dimensionar el banco de baterías, para que se puedan seguir usando, aunque se haya caído la planta de generación eléctrica. En el caso de existir una vía de agua en el casco, y necesitar más capacidad de achique, se harán entrar en servicio las dos bombas restantes de respeto y, también, se pueden utilizar, conectándolas a la red de achique las bombas de flujo de agua potable. En cuyo caso, sería necesaria la limpieza de estas previa a su reincorporación al servicio de agua dulce. Cabe decir también que, en el caso de haber una vía de agua, el agua achicada, no irá a parar al tanque de sentinas, sino que será devuelta directamente al mar.

Si eso no fuera suficiente, y/o hubiera algún problema con el suministro de emergencia o el banco de baterías, se instalarán también dos bombas manuales de la marca Blau Naval, modelo Superlario 2 como la que se muestra en la *Figura 134*, con una capacidad de 40 l/min. Se trata de una bomba manual a pistón de doble acción autoaspirante y especialmente recomendada para instalaciones donde se necesita una alta capacidad de aspiración. La construcción es completamente de bronce anti-magnético.



Figura 134 Bomba manual modelo Superlario 2 de la marca Blau Naval.

La distribución de los pocetes de aspiración será tal que el achique en cámara de máquinas o en cualquier punto de la sentina, se pueda realizar con todas las escoras y asientos posibles.

12.2. Dimensionamiento y cálculos.

Estos cálculos que se muestran a continuación han sido realizados según la norma de la sociedad de clasificación según la sociedad de clasificación DNV-GL (Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd).

COLECTOR PRINCIPAL DE ACHIQUE

Cuando un colector principal de achique está instalado, su diámetro interior (dm) no debe ser inferior al requerido por la siguiente fórmula:

$$dm = 1.68\sqrt{Lr(B + D)} + 25mm$$

Donde:

B = manga del buque, en metros.

D = puntal de trazado desde la cubierta estanca, en metros.

L = eslora reglamentada del yate, en metros.

El diámetro interior debe redondearse al número entero más cercano de tubería, pero en ningún caso podrá ser inferior a 50mm.

$$D_m = 1.68\sqrt{26(5.96 + 4.2)} + 25mm = 52.305mm \rightarrow 53mm$$

CAPACIDAD DE LAS BOMBAS

Cada unidad de achique de sentina tiene que conectarse al colector principal de achique y tiene que ser capaz de dar una velocidad de agua a través del tamaño de las Reglas de colector principal de no menos de 2 m/s.

Para lograr la velocidad de flujo requerida por este artículo, la capacidad Q de cada unidad de achique o bomba de sentina no tiene que ser menor que la requerida por la siguiente formula:

$$Q = \frac{5.75}{10^3} * dm^2 = 16.15 m^3/h$$

13. Sistema de fondeo y amarre

En este apartado se va a proceder a dimensionar todo el sistema de fondeo según la sociedad de clasificación DNV-GL (Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd), una de las sociedades de clasificación más importante del mundo.

Toda la normativa referida a este apartado se encuentra en la normativa DNVGL-RU-SHIP > Pt.3 > Ch.11 Hull equipment > Section 1.

13.1. Numero de equipo.

El primer paso a realizar, es el cálculo del número de equipo. Este valor se obtiene de la siguiente expresión:

$$EN = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2BH + 0,1A$$

Donde:

Δ =Desplazamiento de la embarcación

B =Manga

H =Altura en metros des de la línea de flotación de verano hasta la cubierta más alta, medido de la siguiente manera:

$$H = a + \sum h_i$$

a =Distancia en metros des de la línea de flotación hasta la cubierta más alta.

h_i = Altura en metros de la línea central de cada nivel de la superestructura con una manga mayor a $B/4$.

A =Área proyectada en m^2 del casco, la superestructura y otros espacios que estén por encima de la línea de flotación. Los espacios con una manga menor de $B/4$ no deben tenerse en cuenta.

En la *Figura 135* se representan algunas de estas dimensiones.

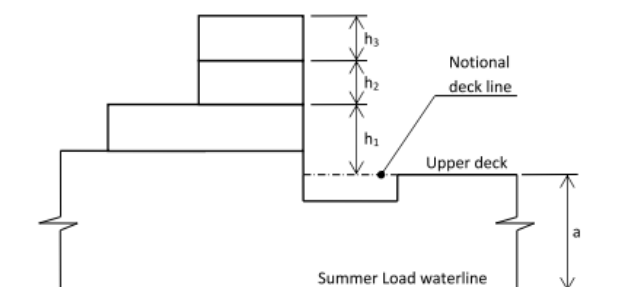


Figura 135 Esquema de las dimensiones a utilizar en el cálculo del número de equipo.

Seguidamente, se debe calcular el número de equipo de la embarcación. Los valores de las dimensiones nombradas anteriormente se muestran a continuación:

$$\Delta = 70,88 \text{ t}$$

$$B = 5,903 \text{ m}$$

$$H = 7,137 \text{ m}$$

$$A = 133,626 \text{ m}^2$$

Y el resultado del cálculo del número de equipo resulta:

$$EN = 114,75$$

13.2. Selección del equipo.

Una vez obtenido el resultado, se debe buscar en la *Tabla 18* donde se especifica cual debe ser el equipamiento general.

Tabla 18 *Tabla de asignación del equipo necesario según el número obtenido.*

Equipment number	Equipment letter	Stockless bower anchors		Stud-link chain cables				Towline (guidance)		Mooring lines ¹⁾²⁾⁴⁾ (guidance)		
		Number	Mass per anchor kg	Total length	Diameter and steel grade			Steel or fibre ropes		Steel or fibre ropes		
				m	VL K1 mm	VL K2 mm	VL K3 mm	Minimum length m	Minimum breaking strength kN	Number	Length of each m	Minimum breaking strength kN
30 to 49	a ₀	2	120	192.5	12.5			170	88.5	2	80	35
50 to 69	a	2	180	220	14	12.5		180	98	3	80	37
70 to 89	b	2	240	220	16	14		180	98	3	100	40
90 to 109	c	2	300	247.5	17.5	16		180	98	3	110	42
110 to 129	d	2	360	247.5	19	17.5		180	98	3	110	48
130 to 149	e	2	420	275	20.5	17.5		180	98	3	120	53

En la tabla se informa sobre el número de anclas que se deben llevar a bordo, la masa de cada ancla, la longitud total de la cadena, el diámetro de la cadena dependiendo del grado del acero; la longitud mínima de los cabos de remolque y la resistencia que deben tener; la cantidad amarras, longitud de cada una y resistencia. Para el número de equipo calculado anteriormente, la embarcación debe disponer de:

- 2 anclas tipo Hall de 360 kg de peso.
- Una longitud de cadena de 123,75 metros cada ancla con un diámetro de 19 milímetros (calidad del acero K1).
- Un cabo de remolque de 180 metros de acero o fibras con una resistencia de 98 kN
- Tres amarras de 110 metros cada una con una resistencia de 48 kN cada una.

13.2.1. Selección del ancla

Según el peso obtenido en las tablas de la sociedad de clasificación DNV-GL, se procede a escoger el ancla de un catálogo de la empresa TRILLO. El ancla aparece en la *Figura 136* y sus dimensiones en milímetros aparecen en la *Tabla 19*.

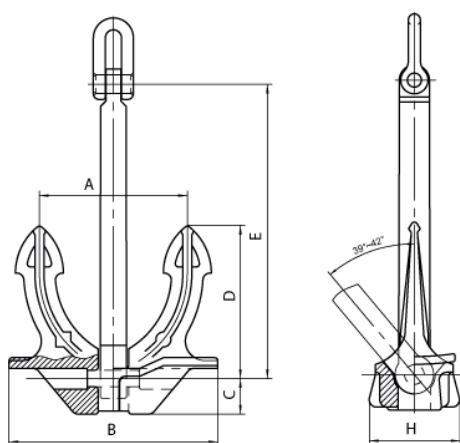


Figura 136 Ancla tipo hall de la empresa Trillo.

Tabla 19 Tabla de características de las anclas tipo hall de la empresa Trillo.

Peso Nominal (kg)	A	B	C	D	E	H
100	378	540	91	395	750	230
125	405	580	97	425	810	248
150	432	612	104	452	855	264
180	459	650	111	480	910	280
240	510	720	122	530	1010	310
280	534	760	130	560	1060	325
300	540	770	131	570	1080	331
320	560	790	132	580	1100	338
360	580	820	139	610	1150	353
420	610	860	146	640	1200	370

13.2.2. Selección de la cadena

La cadena escogida también es del proveedor TRILLO y las dimensiones y pesos se indican en la *Tabla 20*.

Tabla 20 *Tabla de características de las cadenas con contrete de la empresa Trillo.*

Diámetro Cadena (mm)	Cadena Contrete kg/27.5m	Eslabón Normal	Eslabón Alargado	Eslabón Final	Grillete Kenter	Grillete Unión	Grillete Final	Swivel	Ancla Grillete Swivel A SW A (a)	Ancla Grillete Swivel A SW A (b)
14	128	0.26	0.39	0.32	0.6	0.67	1.50	1.05		
16	150	0.35	0.49	0.57	0.65	0.95	1.52	1.34		
17.5	197	0.50	0.66	0.67	0.88	1.34	2.05	1.73		
19	236	0.66	0.85	1.06	1.13	1.84	2.41	2.17		
20.5	268	0.80	1.02	1.06	1.36	2.2	3.25	2.2		

13.3. Peso del equipo

Se deben instalar 247,5 metros de cadena. Esto en largos equivale a 9 largos de cadena en total. Al tener que instalar dos anclas, estos se van a repartir en 4 largos a un costado y 5 en el otro.

13.4. Cálculo de la potencia del molinete

El cálculo de la potencia necesaria del molinete se va a llevar a cabo simulando la condición más crítica posible. Esto es cuando el molinete debe generar suficiente potencia para elevar el ancla y la cadena y para vencer el agarre del ancla al suelo marino.

$$P_{zarpado} = \frac{(P_c + P_a) * 0,87 + e * P_a}{60 * 75 * \eta} * v_1$$

Donde:

e = Poder de agarre del ancla

P_a = Peso del ancla

P_c = Peso de la cadena

η = rendimiento mecánico del molinete. Se supone de 0,5

v_1 = velocidad de zarpado

Se considera una velocidad de zarpado de 7 m/min y se procede al cálculo de la potencia.

$$P_{zarpado} = \frac{(5 * 236 + 360) * 0,87 + 3 * 360}{60 * 75 * 0,5} * 7 = 7,528 CV$$

Con esta potencia se obtiene una velocidad de izado de 12,64 m/min.

13.5. Cálculo de la caja de cadenas

El volumen aparente de la cadena se calcula:

$$V = 0,082 * d^2 * L * 0,0001$$

Donde:

V = volumen de la cadena

d = diámetro de la cadena en milímetros

L = longitud de la cadena en metros

$$V = 0,082 * 19^2 * 247,5 * 0,0001 = 0,73 m^3$$

Este cálculo es para las dos cajas de cadenas, para una sola caja es necesario un volumen de $0,37 m^3$.
Estos espacios se van a situar en la proa del yate a popa del pique de proa.

14. Sistema de climatización

El término anglosajón fan coil se puede traducir como ventiloconvector. Es un elemento compacto que consta de un ventilador (fan) que toma el aire de la propia estancia y la recircula a través de un filtro, presente en la mayoría de los equipos, y de un intercambiador de temperatura o arrollamiento (coil). Las instalaciones con estos elementos pueden suministrar calor, siendo por tanto un sistema de calefacción, o frío, pasando a ser una instalación de refrigeración, lo que dota de gran versatilidad al sistema.

Los sistemas basados en estos elementos precisan de una unidad que genera el agua refrigerada o el agua caliente que circulará por los fan coils de las estancias a climatizar. Pueden basar su funcionamiento en el principio de la bomba de calor o en cualquier otra tecnología por lo que son fácilmente integrables en sistemas basados en energías renovables.

Las instalaciones pueden ser clasificadas en función de número de conductos que unen la central de generación con los elementos situados en el interior. Así tendremos instalaciones a dos tubos y a cuatro tubos. En las de dos tubos existe realmente un circuito de ida y retorno que recorre todos los fan coils instalados como se puede ver en la *Figura 137*. Por la tubería circulará agua calentada o agua enfriada.

Las instalaciones a cuatro tubos están formadas por dos circuitos de ida y vuelta, uno para el agua caliente y otro para el agua fría. Esto posibilita calefactar unas estancias mientras se refrigeran otras, situación muy normal en grandes instalaciones del sector terciario.

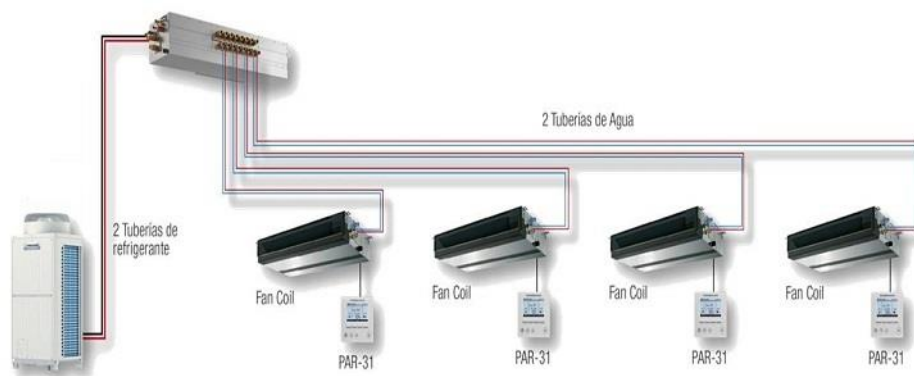


Figura 137 Esquema de funcionamiento de un sistema de climatización mediante ventiloconvectores.

Las instalaciones basadas en estos equipos precisan menos espacio que otras que utilizan otros elementos. La unidad exterior ocupa un espacio fuera de las estancias climatizadas pudiendo situarse en multitud de zonas. Los fan coils tienen diversas formas pudiendo ser instalados de forma horizontal adosados en los techos, de forma vertical paralelos a las paredes y particiones o insertados en forma de casetes en los falsos techos cuando estos existan. En la *Figura 138* se muestran distintos tipos de fan coils.

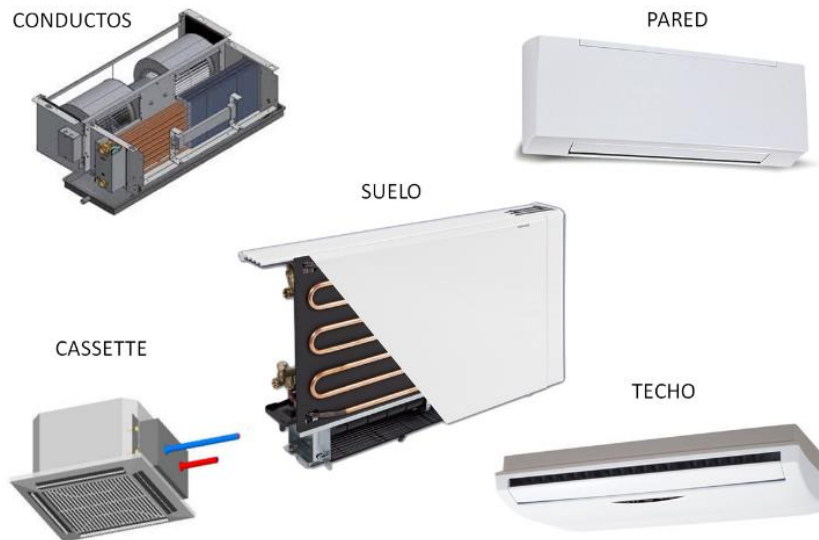


Figura 138 *Tipologías de fancoils según su ubicación.*

En este caso se situará una unidad generadora de frío en la sala de máquinas, ya que debido a la región donde se prevé la navegación, no se cree necesaria la posibilidad de generar calor. Así pues, será una instalación de dos tubos.

15. Sistema de agua potable

Tal y como se refleja en las normativas estatales, el agua es un elemento esencial para la vida, y constituye más del 70% de nuestro organismo. Su manejo a bordo requerirá todo nuestro cuidado, pues supone uno de los aspectos más importantes de la higiene de los buques.

El agua la utilizamos principalmente para el consumo directo (agua de bebida, de preparación de comidas) y limpieza de los alimentos mismos y de los utensilios de cocina y comedor; también de forma secundaria para el aseo personal, lavandería, limpieza de alojamientos, etc.

El agua destinada al consumo humano ha de reunir una serie de requisitos:

- No tendrá gérmenes capaces de producir enfermedades.
- No tendrá productos químicos nocivos.
- Su aspecto, color, sabor y olor han de resultar agradables.
- El agua con estas características es la que denominamos «agua potable».

Esta agua puede producirse a bordo mediante destilación o desalinización del agua del mar, pero lo más habitual (y sobre todo en barcos pequeños) es que provenga de puerto, en cuyo caso puede haber sido tratada en tierra; ante la duda será tratada a bordo para asegurar su potabilidad y proteger la salud de la tripulación. Los sistemas de abastecimiento y depósito deben ser minuciosamente comprobados para evitar la contaminación de la misma.

El circuito de agua potable incluye los depósitos, las bombas y el sistema de distribución, y ha de ser absolutamente independiente del resto de las canalizaciones del buque, especialmente de los circuitos de aguas residuales (de los que se hablará en el siguiente punto). Debe estar construido con materiales resistentes a la corrosión y no tóxicos. Constará de dispositivos antirreflujo y filtros en los respiraderos de los depósitos, que impidan el paso a insectos y roedores, e indicadores automáticos de nivel, que eviten el uso de varillas.

El depósito debe poder desaguar totalmente y tendrá un registro lateral para su inspección y limpieza periódica.

Especialmente importante es la carga, que contará con un conducto de llenado en cubierta y con toma para conectarse a las mangueras del puerto. Las mangas se guardarán en un armario especial rotulado «Manga de agua potable», y no se emplearán para otro fin. Estas mangas han de limpiarse y desinfectarse periódicamente para asegurar su correcto estado.

15.1. Cálculo del volumen de agua

Se procederá de dos formas distintas y se elegirá el mayor resultado.

Por una parte, al realizar el suministro de agua potable tendremos en cuenta unas necesidades mínimas por tripulante y día de 32 litros para bebida y cocina y 88 litros para lavado. Estas cantidades pueden incrementarse para disponer de mayores facilidades higiénicas, alcanzándose consumos de unos 200 litros/tripulante/día.

Por otra, se procede a hacer un cálculo estimado de cuál será el consumo de agua dulce por día y se muestra en la *Tabla 21*:

Tabla 21 *Tabla del consumo de agua dulce estimado por día.*

	Consumidores	L x día	A. caliente	A. fría
camarote 1	ducha 1	150	90	60
	lavabo 1	20	12	8
	retrete 1	32	0	32
camarote 2	ducha 2	150	90	60
	lavabo 2	20	12	8
	retrete 2	32	0	32
camarote 3	ducha 3	75	50	25
	lavabo 3	20	12	8
	retrete 3	32	0	32
camarote 4	ducha 4	75	50	25
	lavabo 4	20	12	8
	retrete 4	32	0	32
camarote 5	ducha 5	150	90	60
	lavabo 5	20	12	8
	retrete 5	32	0	32
tripulación	ducha t1	300	200	100
	retrete t1	32	0	32
	lavabo t1	20	12	8
otros servicios	cocina	50	20	30
	limpieza	25	25	
	lavavajillas	90	70	20
TOTAL		1377	757	620

Durante el cálculo anterior se pretendía ser conservado y sobredimensionar un poco el tanque de agua dulce, ya que la falta de ésta en alta mar, supone un gran problema. Para ello, se han asumido las siguientes condiciones:

- 4 tripulantes y 8 invitados
- Una ducha equivale a 75L (los baños de los camarotes dobles, se asumen dos duchas por día).
- Una descarga de un inodoro 8L (se asumen 4 descargas de cada inodoro por día).

Aun así, resulta ser más exigente la condición de 200 litros por persona y día, así que se sobredimensionará el consumo a: $200 \times (4 \text{ tripulantes} + 8 \text{ invitados}) = 2400\text{L}$ de agua potable al día.

Asumiendo como travesía más larga 2 días de navegación, nos queda que se va a necesitar un tanque de agua dulce de 4800L. Éste se va a situar en el doble fondo de la embarcación. Estará conectado al circuito de agua fría y al de agua caliente del buque, cuyas estaciones de bombeo se van a encontrar en sala de máquinas.

A continuación, se muestran en las *Figuras 139 y 140* los circuitos de agua fría y agua caliente proyectados en la embarcación.

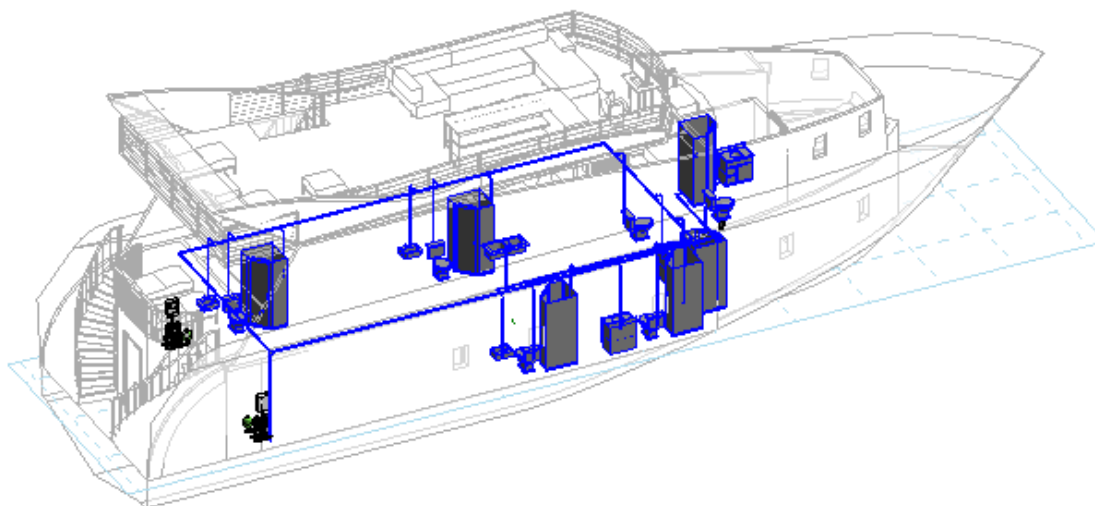


Figura 139 *Distribución del circuito de agua fría en Revit.*

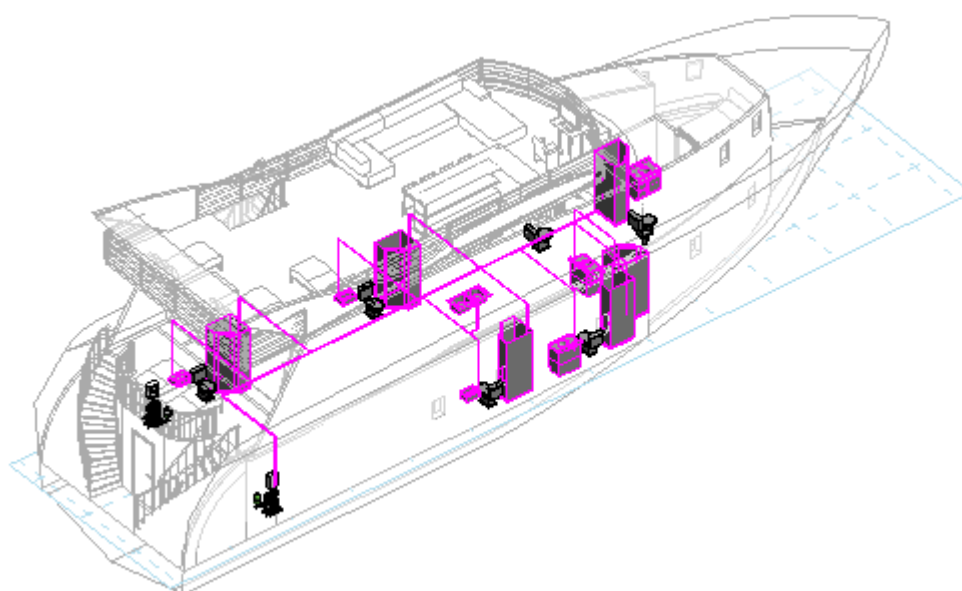


Figura 140 *Distribución del circuito de agua caliente en Revit.*

16. Servicio sanitario

Vivir a bordo de un yate o cualquier tipo de embarcación es una de las experiencias más hermosas en el agua. Cada vez más personas pasan su tiempo a bordo de embarcaciones, ya sean de recreo o sus viviendas permanentemente. La tecnología moderna de hoy permite un suministro independiente de energía, suministro de agua potable y toda una serie de comodidades que hacen de este estilo de vida a bordo todo un lujo. El único problema que aún no está resuelto en un grado satisfactorio es el tratamiento de aguas residuales. Si es cierto que está permitido verter dichas aguas al mar siempre y cuando sea a más de 12 millas de la costa y a una velocidad superior a 4 nudos. Ésta sería la solución más sencilla para este proyecto, sin embargo, no la más apropiada. Cada vez son más las personas y empresas que buscan caminos alternativos a lo ya establecido para iniciar un cambio en pro de la sostenibilidad. En esa misma dirección se ha buscado una solución para el problema de las aguas negras a bordo.

16.1. Tratamiento biológico.

Después de muchos años de investigación y desarrollo, se están devolviendo al mar las primeras aguas cloacales totalmente biológicas provenientes de la planta de tratamiento de yates y casas flotantes. Con el objetivo de seguir ese camino, se ha seleccionado un equipo de tratamiento que está aprobado en todo el mundo por la certificación IMO / MARPOL y MED: Enteron.

El sistema elegido está disponible en diferentes tamaños, adaptados al número de personas a bordo.

Es simple: durante la operación, la estación requiere solo energía eléctrica del sistema DC (12 o 24 voltios) y una dosis mensual de concentrado bacteriano (proporcionado por la misma compañía) para mantener el crecimiento bacteriano en el biorreactor de la unidad. El consumo diario de energía es de 25-50 Ah. El sistema de control funciona de manera totalmente automática, pero se puede adaptar su funcionamiento según cambien las condiciones de uso con solo presionar un botón (por ejemplo, operación de sobrecarga cuando haya muchos invitados a bordo). El mantenimiento es simple y está limitado al reemplazo anual de los elementos del filtro y el radiador UVC según lo indique el controlador.

Es seguro: la tecnología de limpieza empleada primero separa los componentes sólidos de los líquidos de las aguas residuales. El líquido se clarifica completamente de forma biológica mientras que por otra parte los sólidos se maceran hasta el tamaño de partículas deseado y con estas se alimenta al proceso de clarificación. Este método también funciona incluso con el movimiento de las olas en yates. Las aguas residuales clarificadas se filtran y esterilizan mediante radiación UVC. Esto significa que solo el agua, libre de sedimentos y bacterias, es devuelta al medio ambiente. El gas resultante de las aguas residuales se filtra y se descarga.

En resumidas cuentas, las características que definen a este equipo (*Figura 141*) son las siguientes:

- Convierte las aguas residuales en agua libre de sedimentos y bacterias
- No produce lodos resultantes del proceso
- Sin productos químicos
- Socava todos los valores límite requeridos
- Certificado IMO / MARPOL
- Instalación simple y rápida

- Bajos costos de mantenimiento
- Operación completamente automática

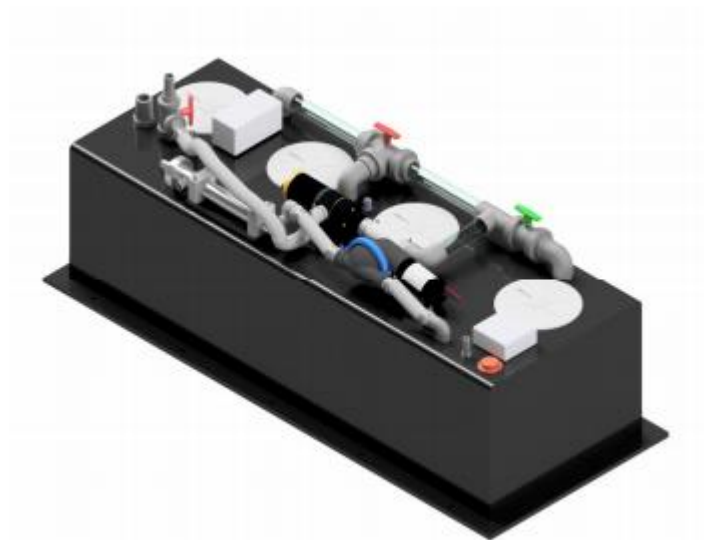


Figura 141 Tanque de tratamiento biológico de aguas residuales.

Enteron tiene en el mercado la tecnología disponible en dos tamaños distintos, cuyas características se muestran a continuación en la *Tabla 22*:

Tabla 22 Características de los modelos 50 y 80 de Enteron.

	Enteron 50	Enteron 80
Carga diaria de aguas residuales [l/d]	50	80
Número de personas recomendado	2-4	4-6
Capacidad de sobrecarga hasta [l/d]	100	160
Peso del equipo vacío [kg]	50	75
Peso con carga máxima [kg]	260	500
Dimensiones (largo x ancho x alto) [mm]	1500x600x550	1500x100x550

A partir de las características de los modelos, se establece que para satisfacer las necesidades de la embarcación es necesario disponer dos equipos Enteron 80. Se ubicarán en el doble fondo del buque, justo debajo del distribuidor de la cubierta inferior.

Para facilitar un mayor aprovechamiento del este tipo de espacios, la misma compañía proporciona equipos con acabados en distintas formas para así elegir el que más se adapte al espacio disponible como los que se muestran en la *Figura 142*.

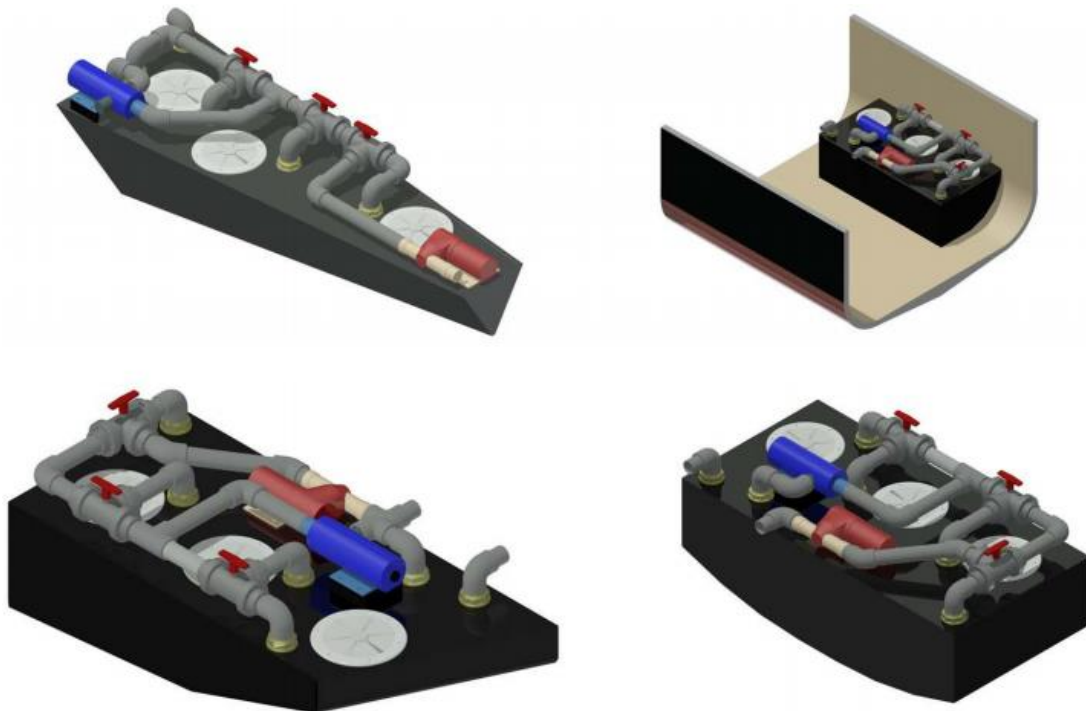


Figura 142 Opciones proporcionadas por el fabricante para un mejor aprovechamiento del espacio.

17. Sistema eléctrico

Hoy en día la energía más presente en el día a día, es la eléctrica. Es usada para infinidad de cosas y el mar no es una excepción. La electricidad a bordo se ha extendido a múltiples usos, como alimentación de sistemas electrónicos, motores, calefactores etc.

17.1. Tipologías de redes a bordo

En el caso más general para un buque, hay que tener en cuenta a las fuentes de energía eléctrica más comunes en los buques, tales como principal, emergencia y transitoria. La red de distribución se establece conectando con líneas (cables o feeders), y los cuadros de interconexión con los generadores, motores y otros posibles consumidores. Los generadores principales se conectarán con el llamado cuadro principal, que será el encargado de suministrar energía a los de distribución a través de los distintos escalones, pasándose a denominar éstos como cuadros primarios, secundarios, terciarios, etc. Por otra parte, y de la misma forma, el grupo de emergencias se conecta al cuadro de emergencia. De cada cuadro o terminal saldrán a su vez las distintas líneas (una o varias) denominadas circuitos finales o terminales.

Para realizar las conexiones de las líneas de distribución de sistemas a bordo se utilizan tres sistemas, tipologías o disposiciones geométricas, que pueden ser:

Red en líneas abiertas o red lineal: se basa en la utilización de líneas de gran longitud, que partiendo del cuadro principal alimentan los distintos cuadros primarios. Este sistema parece el más fácil y económico de realizar, pero es una de las peores soluciones técnicas, ya que obliga a distribuir líneas de gran sección en los tramos más próximos a los generadores principales y complica la instalación de sistemas de protección unitarios o selectivos.

Red en anillo cerrado, mallado o bucle: se basa en la conexión de todos los sistemas con una línea cerrada de alimentación en forma de anillo, a la que aportan energía los generadores principales a través de uno o más cuadros principales que podrían incluso estar distribuidos en distintas posiciones del buque. Este tipo de red hace que incluso con un fallo en un punto determinado de la instalación, el resto de los cuadros y sus sistemas seguirían recibiendo alimentación. A nivel de red eléctrica, es más segura, y debido a esta razón se hace uso de ella en buques de guerra o en instalaciones “offshore”, donde la disponibilidad de sistemas suceda lo que suceda es esencial independientemente del precio o el tipo de instalación.

Los inconvenientes son el volumen, peso, sección, longitud y coste elevado de la instalación y la mayor complejidad a la hora de instalar y distribuir los sistemas de protecciones. Otro inconveniente es la previsión de la desconexión de la línea en los dos extremos para solucionar ciertos tipos de averías, mantenimientos y/o instalaciones adicionales.

Red en derivaciones sucesivas, radial o árbol: se basa en la distribución de sistemas en árbol desde el cuadro principal. Desde el cuadro principal salen algunas líneas que a su vez se conectan a cuadros primarios o grandes terminales (motores), a su vez de éstos últimos cuadros salen varias líneas hacia cuadros secundarios y así consecutivamente según las necesidades del buque o la instalación. Esta tipología tiene principalmente dos ventajas que son:

- Secciones adecuadas a la intensidad nominal requerida (suma de la distribución que cuelga del cuadro).
- Diseño sencillo y estratificado (escalado) de las protecciones selectivas. A su vez, y para aumentar la fiabilidad de los servicios esenciales del buque, la norma UNE marca que se debe prever una alimentación doble desde el cuadro principal que no incluya a los cuadros de distribución comunes y con tendidos o distribuciones lo más separados posible.

Ejemplo: si una bomba o motor se alimenta con una línea desde por un extremo desde el cuadro principal de proa-estribor y la otra por el otro extremo, pero esta vez recorriendo un camino por popa-babor.

17.2. Protecciones a emplear

Toda red de distribución necesita protección contra corrientes anómalas y sobretensiones. Dichas protecciones sirven tanto para proteger al personal como al equipo y a la instalación. Para el caso que nos ocupa se van a emplear principalmente, los siguientes.

MAGNETOTÉRMICO (Figura 143)

Es un dispositivo utilizado para la protección de circuitos eléctricos contra cortocircuitos y sobrecargas, en sustitución de los fusibles. Tienen la ventaja frente a los fusibles, y es que no hay que reponerlos. Cuando desconectan el circuito debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se rearman de nuevo y siguen funcionando.

Principio de funcionamiento: se basa en un elemento térmico formado por una lámina bimetálica que se deforma al pasar por la misma una corriente durante cierto tiempo, para cuyas magnitudes está dimensionado (sobrecarga) y un elemento magnético, formado por una bobina cuyo núcleo atrae un elemento que abre el circuito al pasar por dicha bobina una corriente de valor definido (cortocircuito).



Figura 143 Interruptor magnetotérmico bipolar.

FUSIBLES (Figura 144)

Es un dispositivo que se coloca en serie con el circuito eléctrico en cuestión, y tiene como misión cortar el paso de corriente cuando se supera un valor de intensidad para el que está calculado. Está compuesto por un hilo conductor de menor sección que los conductores de línea, fabricado con una aleación con un punto de fusión más bajo que los conductores.

Principio de funcionamiento: al producirse una sobre intensidad, la intensidad que circula por el circuito aumenta considerablemente y el elemento fusible alcanza la temperatura de fusión y corta el paso de corriente. Consta de dos partes una que va fija en el cuadro eléctrico, llamada portafusible y el cartucho fusible que es el que tiene el elemento fusible y que es el que se sustituye.



Figura 144 Fusibles de distintos calibres y tipos.

El hecho de colocar un magnetotérmico y un fusible en serie, se debe a la capacidad de corte. Es decir, poniendo el magnetotérmico adecuado al equipo, se asegura el corte en caso de sobrecarga antes de que el equipo se sobrecaliente y sufra daños. Añadir a ese magnetotérmico un fusible en serie, pero que corte a un mayor amperaje, proporciona las ventajas del magnetotérmico frente al fusible. Pero permite que si hubiera un cortocircuito puntual capaz de soldar los contactos del magnetotérmico y evitar así que este se dispare, el fusible corte dicha corriente. A demás para una misma capacidad de corte resulta más económico un fusible que un magnetotérmico.

17.3. Tipos de esquemas

Los esquemas unifilares son los más utilizados para representar instalaciones eléctricas, ya que son más simples y rápidos de realizar, además pueden sintetizar mayor cantidad de datos que los multifilares, a diferencia entre ambos es, que mientras que en el multifilar (*Figura 145*) se representan todas las líneas posibles de conexión. En el unifilar (*Figura 146*) sólo se hace un trazo, y tantos trazos transversales como líneas lleve el circuito, en estos circuitos se pueden indicar todos los datos que se quiera: sección, caída, longitud, potencia o intensidad, medidas de la canalización, calibre de las protecciones, etc.

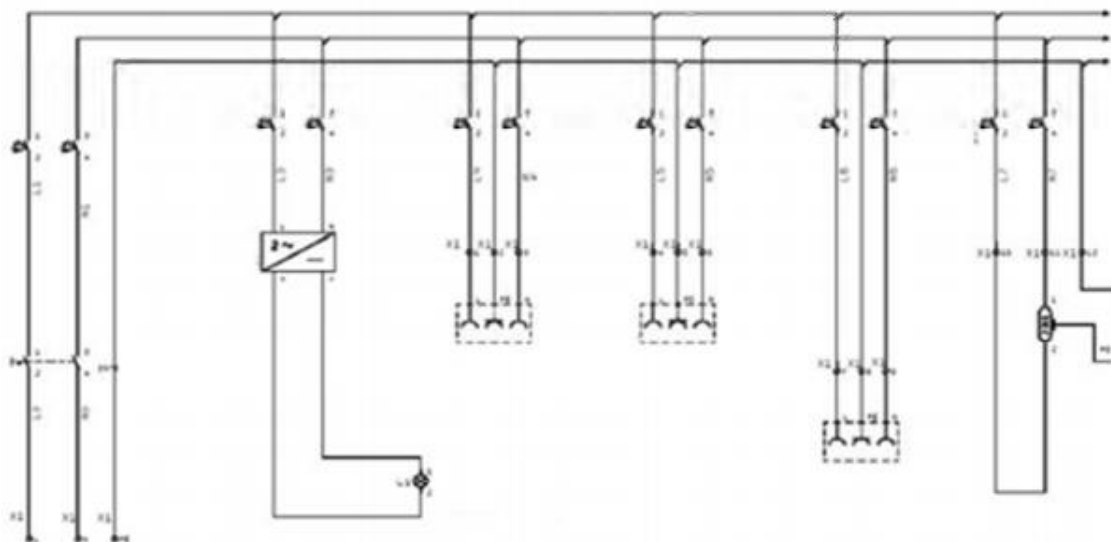


Figura 145 Ejemplo de un esquema multifilar.

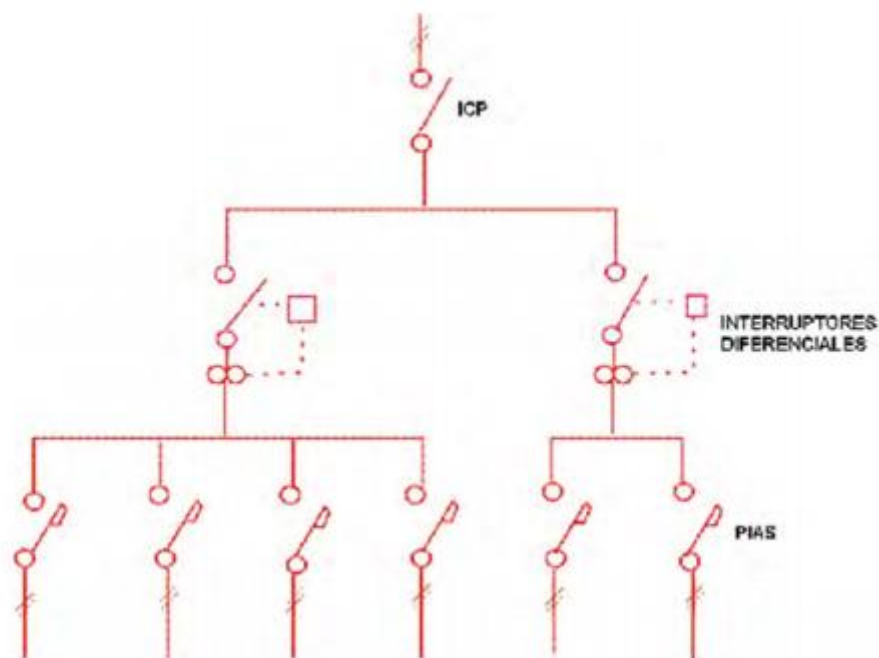


Figura 146 Ejemplo de un esquema unifilar.

17.4. Tensión y frecuencia.

Es comúnmente aceptado en la actualidad el uso de la corriente trifásica en detrimento de la corriente continua. Entre las ventajas que se obtienen con el empleo de este tipo de corriente se pueden destacar las siguientes:

- Posibilidad de conectarse a la red de puerto.
- Mayor robustez, menor coste, mantenimiento más sencillo y menor peso y empacho de los motores y generadores.
- Permiten el uso de tensión más elevada, por lo que se puede ahorrar en cobre a ser la sección de los conductores menor.
- En general, la tripulación conoce con más profundidad estos equipos por lo que la fiabilidad en el mantenimiento que realizan es mayor.
- No exigen un control tan elevado de la velocidad de régimen. Por estas razones se elige la instalación de corriente eléctrica alterna trifásica. La elección de la tensión y la frecuencia está condicionada principalmente por la corriente empleada en los puertos en los que el buque va a atracar en su recorrido más frecuente. En este caso suponemos que el buque realizará recorridos por América Central, en donde la tensión empleada es de 440 V a 60 Hz. De cualquier manera, se debe particularizar el tipo de corriente a emplear en los distintos tipos de instalaciones.

17.4.1. Instalación del yate.

Fuerza: se va a emplear la corriente que se obtiene directamente de los generadores, niveles de tensión de 440 V a 60 HZ al igual que una instalación en tierra.

Alumbrado: para el alumbrado se emplea una tensión de 24 V DC ya que se emplearán luces LED para dicho fin. Para ello se emplean baterías de acumuladores que se cargan de la red trifásica o de la monofásica mediante grupos transformadores-rectificadores.

Instalaciones especiales: Existe una serie de consumidores que necesita también de un tipo de **corriente continua a 24 V**. Estos consumidores son:

- Luces de navegación.
- Luces de señales.
- Luces de Morse.
- Aparatos de navegación.
- Aparatos de comunicaciones.
- Motor de arranque del generador de emergencia.

Dentro de las instalaciones de alumbrado se pueden distinguir tres grupos:

- **Alumbrado general**, que consiste en las luces de los pasillos, camarotes, alumbrado de cubierta, etc. Dan servicio al alumbrado de los compartimentos del buque como pueden ser: puente de gobierno, alumbrado de cámara de máquinas, alumbrado de pasillos, camarotes, etc.

- **Luces de navegación**, a pesar de su baja potencia, tiene una gran importancia en cuanto a la navegación y tiene que reunir una serie de características especiales a diferencia de las demás. Son las luces que todo barco debe de llevar para navegar de noche y dependen de: tipo de barco, si está pescando, etc.

Las luces de navegación deben ir protegidas contra el agua y la humedad, debiendo ser las faroleras estancas. El voltaje máximo permitido en el alumbrado de navegación es el de 24 voltios. Esto es debido, aparte de la seguridad en el trabajo, a que, en caso de avería del generador de corriente principal, se pueda dar servicio a las luces de navegación con un grupo de baterías de emergencia.

Las luces de navegación (*Figura 147*) se componen de:

- Banda de babor Luz verde 112,5° de visibilidad.
- Banda de estribor Luz roja 112,5° de visibilidad.
- Luz de tope Luz blanca 225° de visibilidad.
- Luz de alcance Luz blanca 135° “Como se ha mencionado anteriormente las luces de navegación, es un sistema importantísimo en el funcionamiento del buque, es por ello que tiene unas características especiales.

Características de las luces de navegación:

- Cada una de las luces que debe llevar el barco, deben ir duplicadas de manera que si durante la navegación se funde una se pueda encender la otra inmediatamente.
- Deben llevar un dispositivo especial para que cuando se funda una de las luces principales señaladas anteriormente suene una alarma que nos indique esta situación.
- Deben llevar un sistema de alimentación de emergencia para que en caso que falle la corriente principal, automáticamente entre en servicio la fuente de energía de emergencia.

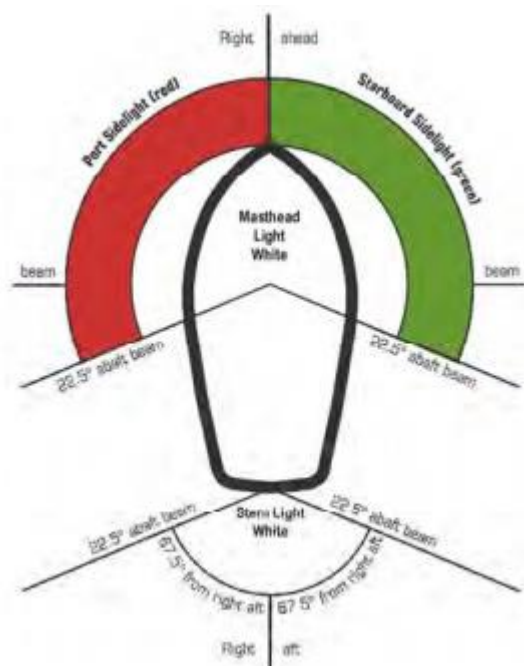


Figura 147 Esquema de las luces de navegación.

- **Alumbrado de emergencia** que nos permitirá tener iluminación en caso que falle la fuente de energía principal. El alumbrado de emergencia debe de saltar automáticamente cuando por cualquier motivo falla la fuente de energía normal. Normalmente es alimentado por un grupo de baterías y permite mantener alumbrada las partes esenciales del buque. Todo buque debe llevar un sistema de alumbrado de emergencia para que, en caso de fallo de la fuente de energía principal, se pueda disponer de luz para entre otras cosas reparar la avería que haya producido la falta de corriente del generador principal. Características del alumbrado de emergencia:

- Debe ser independiente del alumbrado general.
- La tensión de las lámparas será de 24 voltios para que puedan alimentarse con las baterías de emergencia.
- Se deben probar periódicamente para comprobar el estado de las lámparas.

Deben haber alumbrado de socorro en los siguientes locales:

- Puente y derrota, así como sus instrumentos.
- Cámara de máquinas.
- Locales de reunión.
- Proyector que iluminen el arriado de botes.
- Pasillos y escaleras.

El alumbrado de emergencia al igual que las luces de navegación se conectan automáticamente cuando falta tensión en la red principal. En la *Figura 148* se muestra el alumbrado más típicamente usado.



Figura 148 *Luces de emergencia 24V DC con batería.*

Lámpara Tipo LED.

Tal y como se ha comentado previamente, para la iluminación de los espacios de habitación se utilizarán LED's

El LED (Light Emitting Diode - Diodo Emisor de Luz) es un tipo especial de diodo (Unión simple de cristales de silicio P y N), que trabaja como uno común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica emite luz. Existen diodos LED de varios colores y dependen del material con el cual fueron contruidos. Hay de color rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo (GaAs, GaAsP, y GaP). A diferencia de las lámparas incandescentes y fluorescentes, casi toda la energía utilizada por el LED es convertida en luz en lugar de calor, lo cual los hace muy eficientes. Tiene enormes ventajas sobre las lámparas comunes, como su bajo consumo de energía, su mantenimiento casi nulo y con una vida aproximada que varía de 50.000 a 100,000 horas.

1. Alta eficiencia. La iluminación LED consume un 80-90% menos de electricidad que una bombilla corriente de similares características. Esto significa un 90% de ahorro en la factura eléctrica. Con las lámparas de Led se ha conseguido la mayor eficiencia lumínica, llegando hasta 130-150 lúmenes por vatio en las bombillas más eficientes, y a 80 lúmenes por Vatio en las más populares. Como ejemplo la eficiencia lumínica de un halógeno es tan solo de 20 a 25 lúmenes por vatio.
2. Muy bajo consumo. Consumen 2,5 veces menos que una bombilla de bajo consumo convencional y 8,9 veces menos que una bombilla incandescente de las de toda la vida, esto conlleva un impresionante ahorro económico, que puede llegar al 90% en la factura de la luz, y una rápida amortización de la inversión.
3. Duración. Las bombillas LED no tienen filamentos u otras partes mecánicas de fácil rotura y fallo por "fundido". No existe un punto en que cesen de funcionar, su degradación es gradual a lo largo de su vida. Se considera una duración entre 30.000 y 50.000 horas, hasta que su luminosidad decae por debajo del 70%, eso significa entre 10 y 30 años en una aplicación de 10 horas diarias 300 días/año, reduciendo los costes de mantenimiento y remplazo.
4. Calidad de la luz emitida. El CRI o índice aleatorio de color, nos proporciona una medida de la calidad de la luz, las bombillas LED poseen un CRI alrededor de 90, consiguiendo que se aprecien mucho más los matices de la luz. La obtenida por fluorescentes y bombillas llamadas de "bajo consumo", además de no ser instantáneas en su encendido, poseen una luz muy poco natural, con un CRI muy bajo en torno a 44.
5. Baja tensión. La posibilidad de alimentarse a 12 y 24 Volt. Reduce los riesgos de electrocución, además el cableado puede ser netamente inferior en sección, ahorrando dinero en las es.
6. Baja emisión de calor. Al consumir poca energía, las bombillas LED emiten poco calor. Es la llamada luz fría. Por ejemplo, una bombilla halógena gasta de 50W, 45 aproximadamente en emisión de calor, esto supone un gasto extraordinario en aire acondicionado, siendo necesarios unos 70W adicionales para deshacerse del calor generado por esa bombilla.
7. Respuesta instantánea. El encendido y apagado de las bombillas LED es rapidísimo, a diferencia de otros sistemas no se degrada por el número de encendidos; lo que los hace muy útiles en sistemas de apagado y encendido por detección de movimiento.
8. Regulables. Algunos de nuestros modelos LED son regulables, permitiendo el control del gasto energético y la creación del ambiente deseado.
9. Ecológicos. Las bombillas LED son totalmente reciclables y ecológicas ya que no contienen mercurio, ni materiales tóxicos como las lámparas fluorescentes, o CFL.
10. Resistencia. Las lámparas LED son mucho más resistentes a los golpes, e incluso aquellas que poseen un bulbo de cristal pueden seguir funcionando si este se rompe.
11. Emergencia. Su bajo consumo las hace ideales para sistemas de iluminación de emergencia mediante un sistema de baterías o de generador auxiliar, por lo que pueden ahorrar en sistemas paralelos de iluminación. Se harán imprescindibles en hospitales y lugares que requieran una iluminación a prueba de fallos.
12. Menores emisiones de CO₂. Según el Ministerio de Energía de USA (DOE), la iluminación consume el 22% de la electricidad producida en los EE.UU., por lo que la expansión del uso de bombillas LED podría ahorrar una gran cantidad de las emisiones de CO₂, el gas al que se considera responsable del calentamiento global.
13. No emiten rayos ultravioletas. Por lo que atraen menos insectos.

17.5. Balance eléctrico

Según el reglamento SOLAS, en su parte D, capítulo II-1, regla 40, define que la instalación eléctrica será tal que garantice el funcionamiento de los servicios eléctricos auxiliares que sean necesarios para mantener el buque en condiciones de funcionamiento y habitabilidad sin necesidad de recurrir a la fuente de energía de emergencia. Además, según la regla 41 de dicho capítulo, la capacidad de la fuente de energía principal será suficiente para alimentar todos los servicios antes mencionados. Esta fuente de energía estará constituida por, al menos, dos grupos electrógenos y su capacidad individual será tal que, aunque uno de ellos se pare, el resto pueda alimentar los servicios necesarios para lograr las condiciones de operación normales de propulsión y seguridad. Como consecuencia de todo lo anterior, el cálculo del balance eléctrico se va a realizar para una serie de condiciones operativas que se supone que van a cubrir casi completamente el rango de operación del buque. Estas son:

- Buque navegando en condiciones normales.
- Buque maniobrando para atracar.
- Buque en puerto con tripulación únicamente.
- Buque en puerto en condiciones de hotel con todo el pasaje.

En el balance eléctrico realizado se listan todos los elementos que necesiten energía eléctrica para poder llevar a cabo su cometido a bordo. Y estos son un total de 295 elementos que se pueden clasificar en:

- 162 luces LED
- 18 tomas de corriente
- 35 electrodomesticos (linia blanca, fan coils, etc.)
- 17 televisores y altavoces
- 28 instrumentos de puente y navegación
- 8 elementos de cubierta como luces y la antena
- 27 equipos de sala de máquinas y amarre

En el balance eléctrico, se indica las unidades instaladas de cada equipo, las unidades en servicio, el voltaje al que se deben conectar, la potencia que se les debe suministrar, el lugar donde se encuentran y el sistema y subsistema al que pertenecen. Se indica también si dicho equipo es esencial, y si es de emergencia o no.

Del balance anterior se extrae que, para una condición de navegación con, en el peor de los casos (gran parte de los equipos funcionando a plena carga y de forma simultánea) se necesita una potencia eléctrica de: 39,022kW

Dicha potencia va a ser generada por dos generadores diésel de la marca Kohler modelo **40EFOZDJ** los cuales proporcionan una potencia de 20,5kW cada uno. Esto es debido a que, con el fallo de uno de los dos generadores, el buque puede seguir navegando con normalidad ya que cada generador, es capaz de alimentar los consumidores esenciales por sí solo.



Figura 149 Generador diésel de la casa Kohler modelo 40EFOZDJ de 20,5kW.

Si la planta cayese (se dejase de generar energía eléctrica), sería necesario una planta de generación de emergencia, autónoma, con su propio tanque de combustible, e independiente de la red principal. Que sea capaz de suministrar suficiente potencia para que el buque pueda seguir siendo gobernado y seguro para los pasajeros. Esta planta debe alimentar a todos los consumidores marcados como de emergencia. Para eso, se empleará un generador de la misma marca, modelo **9EKOZD** que produce **7kW** de potencia.



Figura 150 Generador diésel de la casa Kohler modelo 9EKOZD de 7kW.

Ambos modelos vienen equipados con una carcasa de metal con aislamiento para cualquier ruido o vibración producidos. Construidos para que el pasajero ni se dé cuenta cuando los generadores estén funcionando.

Finalmente, por si todo eso no fuera suficiente, se instalará un banco de baterías, encargadas de suministrar energía en caso de caída de la planta, mientras no arranque el generador de emergencia. O por si este último también fallase. Estas baterías se han dimensionado de forma que puedan suministrar energía a los elementos que serían estrictamente necesarios en caso de emergencia extrema. Entre estos elementos están: bombas contra incendios, luces de emergencia (aunque cada una de ellas dispone de una batería individual), una bomba de achique, los equipos de puente y señalización (como luces de navegación) etc.

Se ha estimado un tiempo de suministro de unas **10h**, con lo cual, serán instaladas **14** baterías marinas de descarga profunda, que a dicho régimen de descarga proporcionan **210 Ah** cada una.



Figura 151 Batería marina de descarga profunda de la casa Trojan.

En el ANEXO 3 se muestra un esquema ilustrativo y el unifilar de la instalación eléctrica del yate.

18. Sistema propulsivo.

No se puede disfrutar de una embarcación de recreo, si esta no es capaz de desplazarse de forma satisfactoria a los destinos deseados por sus usuarios. Para llevar a cabo dicho fin, desplazarse libremente, será necesario equipar la embarcación con uno o más motores, cuya potencia se debe dimensionar. A continuación, se expone como.

18.1. Resistencia al avance

A continuación, se define la resistencia al avance, pero antes se explicará brevemente el comportamiento que tiene una embarcación planeadora des de que se encuentra en reposo hasta que alcanza el régimen de planeo.

Se parte de la embarcación en reposo, con su calado inicial. Cuando la embarcación empieza a avanzar, una pequeña parte de la obra muerta de hunde, lo cual afecta a la posición del centro de flotación. Al haber aumentado la superficie mojada, la resistencia al avance también aumenta. A medida que la embarcación gana velocidad también cambia su trimado, hundiendo el espejo de popa y elevando la proa.

A medida que la velocidad va aumentando, empieza a aparecer el efecto de empuje hidrodinámico, esto es la componente vertical de las fuerzas hidrodinámicas que se producen. La aparición de estas fuerzas corrige el trimado de la embarcación, entonces el centro de gravedad vuelve a cambiar su posición respecto a la superficie del mar. Entonces la superficie mojada del casco se reduce considerablemente y esto comporta una reducción de la resistencia al avance.

Descomposición de la resistencia al avance

La resistencia al avance depende de fenómenos viscosos y gravitatorios, así variará en función de los números adimensionales de Reynolds y Froude.

Número de Reynolds

$$R_n = \frac{\rho * V * L}{\mu}$$

Número de Froude

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g * L}}$$

El primer término, el número de Reynolds, corresponde a la resistencia viscos. Esta resistencia se puede descomponer en dos componentes: la resistencia por fricción y la resistencia de presión por fricción. El segundo término, el número de Froude, corresponde a la resistencia por formación de olas.

La resistencia al avance se puede desglosar de la siguiente manera:

$$R. AVANCE = (R. Fricción + R. Presión) + R. Formación de olas$$

18.1.1. Resistencia por fricción

Esta resistencia se produce de la fricción del agua con la superficie del casco. Esto es debido a que el agua no se desliza sobre el casco, sino que una delgada capa de fluido se mantiene adherida a la superficie del casco. Esta delgada capa, arrastra a otra capa debido a la viscosidad del fluido, pero no son solidarias. Es decir, la segunda capa, que será arrastrada por la primera que se encuentra adherida al casco, va a desplazarse más lentamente. Así sucederá hasta llegar a una capa suficientemente alejada del casco en la que el movimiento del casco ya no influye en el agua.

Como la resistencia por fricción actúa sobre la superficie del casco y debido al planeo esta se reduce considerablemente, esta componente de la resistencia también va a disminuir notablemente.

El cálculo de la resistencia por fricción de una placa plana requiere el uso de técnicas experimentales o numéricas, existen fórmulas experimentales. La más conocida es la línea de fricción ITTC-57. Mediante esta fórmula, se puede calcular la resistencia de fricción de una placa plana en función del número de Reynolds.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10}(R_n) - 2)^2}$$

Donde C_F es el coeficiente adimensional de la fricción. A partir de este coeficiente se puede calcular el valor de la resistencia por fricción R_F :

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2} * \rho * V^2}$$

Donde:

R_F = resistencia de fricción

ρ = densidad del agua

S = superficie mojada del casco

V = velocidad de la embarcación

18.1.2. Resistencia de presión por fricción

La resistencia de presión se debe a un desequilibrio en las presiones que actúan sobre el casco, producidas por fenómenos viscosos. Esta componente se puede reducir con un diseño adecuado de las formas del casco. Así que el valor de esta componente de resistencia va a depender de dos factores: las formas del casco y también el número de Reynolds.

Las recomendaciones más habituales a la hora de reducir esta componente de la resistencia son limitar las curvaturas de las líneas de agua del casco, así como el ángulo de entrada del agua en la línea de flotación.

Por todo lo comentado anteriormente, el coeficiente de forma del buque que más influye en la resistencia viscosa es el coeficiente prismático. Este coeficiente indica como de llenas son las formas del buque, cuanto mayor es su valor más llenas son las formas del casco, especialmente las de popa.

Debido a esto, también aumenta la curvatura de las líneas del casco, influyendo de manera muy significativa en el aumento de la resistencia de fricción por presión.

18.1.3. Resistencia viscosa

La resistencia viscosa se conforma por los dos factores explicados anteriormente. Se define mediante el coeficiente adimensional C_V en función del coeficiente de fricción de una placa plana.

$$C_V = (1 + k) * C_F = (1 + k) * \frac{0,075}{(\log_{10}(Rn) - 2)^2}$$

Donde k se le denomina factor de forma y se asume que depende únicamente de las formas del casco. Este valor k ya toma en consideración la resistencia de presión por fricción y a la variación de resistencia por fricción debido a las diferencias geométricas entre un barco y una placa plana de igual superficie mojada.

Finalmente, el cálculo de la resistencia viscosa queda de la siguiente manera:

$$C_V = \frac{R_V}{\frac{1}{2} * \rho * S * V^2}$$

Donde,

R_V = resistencia viscosa

18.1.4. Resistencia por formación de olas

La resistencia tiene una segunda componente, también muy importante, y es la resistencia que se produce por la formación de olas, ya que esto requiere un gasto energético.

Cuando una embarcación navega a velocidades bajas, las olas que genera son de muy baja amplitud, entonces, se puede considerar que prácticamente toda la resistencia al avance que experimentará dicha embarcación será de origen viscoso. Pero, a medida que la velocidad va aumentando, el patrón de olas variará alterando así amplitud y su longitud de onda. En este momento podrán suceder dos cosas dependiendo de la velocidad. Puede ser que las olas interfieran entre ellas de manera destructiva o de manera constructiva.

Si las olas interfieren constructivamente, esto va a implicar que las dos crestas de ola se sumarán. Esto genera una ola de mayores dimensiones y que produce un aumento mayor en la resistencia por formación de olas. Por lo contrario, si las olas interfieren destructivamente, la resistencia al avance por formación de olas va a ser mínima.

El fenómeno de la interferencia de los trenes de olas es de suma importancia en el comportamiento de este tipo de resistencia al avance.

Por ejemplo, la embarcación genera un tren de olas en proa y otro en popa y estos trenes se desplazan longitudinalmente a la misma velocidad que la embarcación. En la *Figura 152* se muestra cómo.

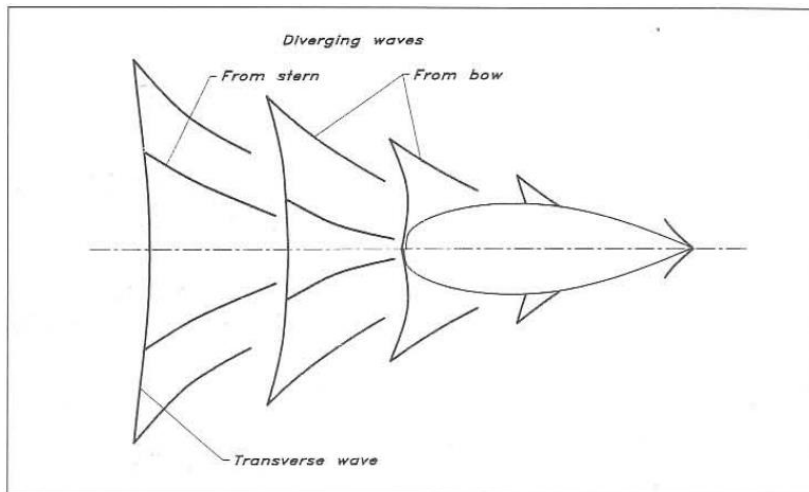


Figura 152 Sistema de olas formada por el avance de una embarcación.

La velocidad del tren de olas va en función de la longitud de onda, y se expresa de la siguiente manera:

$$v = 1,25\sqrt{\lambda}$$

Donde,

λ = longitud de onda

Por ejemplo, suponemos una embarcación de 7 metros de eslora mojada. Esta embarcación genera un tren de olas con una longitud de onda igual a la eslora mojada del casco, 7 metros.

Esto quiere decir que el tren de olas se desplazara a una velocidad de:

$$v = 1,25\sqrt{7} = 3,3 \text{ m/s}$$

La conclusión de este cálculo es la siguiente. Una embarcación de 7 metros de eslora mojada navegando a una velocidad de 3,3 m/s, va a generar que los trenes de olas generados en popa y en proa interfieran constructivamente en la popa, provocando así la aparición de un máximo de resistencia por formación de olas, en inglés llamado *Hump*.

En la *Figura 153* se muestra un gráfico con los valores del número de Froude donde se van a encontrar máximos y mínimos de resistencia por formación de olas.

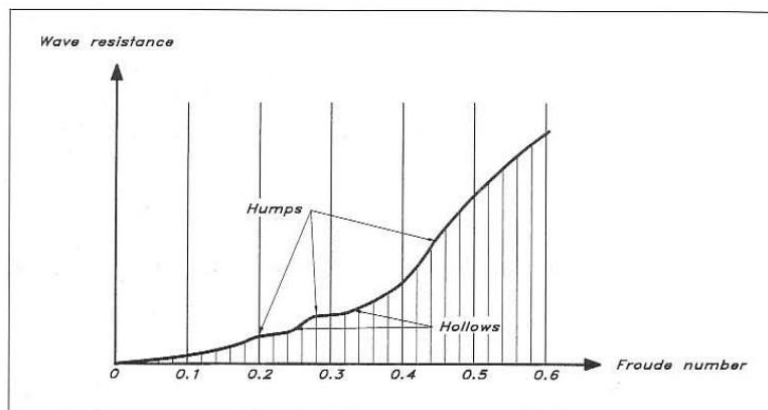


Figura 153 Curva de la resistencia por olas en función del número de Froude.

La resistencia por formación de olas no se puede calcular de manera experimental, por este motivo en su lugar se habla de la resistencia residual. La resistencia residual engloba la resistencia por formación de olas y la resistencia de presión por fricción con el resto de componentes.

18.2. Cálculo de la resistencia al avance

Finalmente, después de todo lo expuesto anteriormente, se propone la siguiente ecuación:

$$R_T = R_V(R_n) + R_W(F_n)$$

Pero como no es posible calcular la resistencia por formación de olas, se redefine la resistencia al avance según la fórmula de Hughes, que es la siguiente:

$$R_T = (1 + k)R_V(R_n) + R_R(F_n)$$

Donde R_R es la resistencia residual nombrada anteriormente.

18.3. Determinación de la resistencia al avance

A continuación, una vez expuesta la teoría, se calculará la resistencia al avance del casco diseñado para poder determinar la potencia requerida y así poder escoger un motor adecuado.

La embarcación diseñada tiene una velocidad de crucero de 21 nudos, está al límite del planeo. Existen diferentes métodos para calcular la resistencia al avance para este tipo de embarcaciones, pero para este proyecto se va a utilizar el método de Savitsky.

18.4. Método de Savitsky

El método Savitsky es el más utilizado para predecir la potencia de embarcaciones de planeo, pero también tiene una versión para embarcaciones que están muy cerca de la velocidad de planeo.

Este método, calcula la sustentación basándose en la estimación de la astilla muerta a partir de datos obtenidos en ensayo con placas planas. En estos ensayos, la placa plana avanza a través del fluido de forma paralela a su propio plano, por lo que la única fuerza que experimenta es la resistencia por fricción.

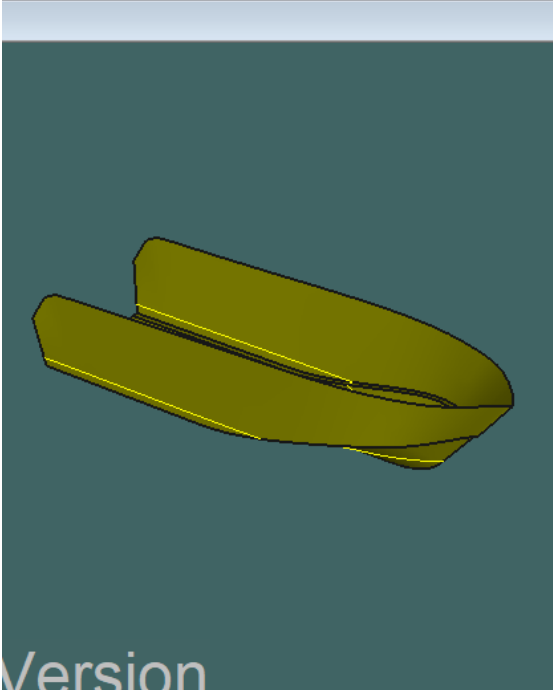
Este método no tiene en cuenta elementos como los chines, la función de los cuales es generar una mayor sustentación. Para analizar correctamente la influencia de estos elementos en el casco, se requiere realizar un análisis CFD (*Cumputational Fluid Dynamics*).

Para la aplicación del método Savitsky, si va a usar el programa Maxsurf Resistance y realizará el análisis con el método Savitsky Pre-planning.

18.5. Cálculo de la resistencia al avance mediante Maxsurf Resistance

Del conjunto de programas que forman Maxsurf, para este apartado se va a utilizar el programa Maxsurf Resistance, conocido anteriormente como “Hullspeed”. Este software es capaz de proporcionar unos resultados tan solo definiendo la geometría del casco, la línea de flotación y el rango de velocidades para las que se quiere realizar el estudio. El programa permite realizar el análisis mediante distintos métodos, pero este proyecto se va a centrar en el Savitsky Pre-planning.

El primer paso es importar el diseño que anteriormente se ha trabajado en Maxsurf Modeler. Es muy importante que anteriormente se haya definido el calado, la línea base y las perpendiculares de proa y popa. Una vez importada la geometría del casco, el programa obtiene todos los datos necesarios para poder realizar el análisis tal y como se muestra en la *Figura 154*.



	Item	Value	Units	Savitsky
1	LWL	21,715	m	21,715
2	Beam	5,903	m	5,903
3	Draft	1,1	m	--
4	Displaced volume	69,167	m³	69,167
5	Wetted area	120,719	m²	120,719
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,736	--	--
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,8	--	--
8	1/2 angle of entrance	21,5	deg.	21,5
9	LCG from midships(+ve for'd)	-2,502	m	--
10	Transom area	0	m²	0
11	Transom wl beam	0	m	--
12	Transom draft	0,452	m	--
13	Max sectional area	4,329	m²	4,329
14	Bulb transverse area	0	m²	--
15	Bulb height from keel	0	m	--
16	Draft at FP	1,1	m	--
17	Deadrise at 50% LWL	14,7	deg.	--
18	Hard chine or Round bilge	Round bilge	--	--
19				
20	Frontal Area	0	m²	
21	Headwind	0	kn	
22	Drag Coefficient	0		
23	Air density	0,001	tonne/	
24	Appendage Area	0	m²	
25	Nominal App. length	0	m	
26	Appendage Factor	1		
27				
28	Correlation allowance	0,0004		
29	Kinematic viscosity	0,00000118	m²/s	
30	Water Density	1,0259	tonne/	

Figura 154 Datos hidrostáticos del casco sometido al ensayo en el Maxsurf Resistance.

El siguiente paso es definir el método de análisis y el rango de velocidades que se quieren estudiar. A continuación, se muestra la *Tabla 23* con los valores calculados por el programa.

Tabla 23 *Tabla de resultados del ensayo de resistencia al avance en Maxsurf Resistance.*

Speed (Kn)	Froude No.	Resistance (N)	Power (W)
12,5	0,441	26785,11	172243,13
13,125	0,463	34249,41	231254,86
13,75	0,485	41802,78	295696,58
14,375	0,507	49563,93	366532,12
15	0,529	56841,88	438629,86
15,625	0,551	63090,18	507131,11
16,25	0,573	67942,61	567981,36
16,875	0,595	70166,25	609130,78
17,5	0,617	71446,19	643214,19
18,125	0,639	71142,68	663356,05
18,75	0,661	71490,41	689584,56
19,375	0,683	72810,38	725727,37
20	0,705	73970,14	761070,58
20,625	0,727	74913,61	794864,63
21,25	0,749	75786,24	828491,01
21,875	0,771	76572,76	861709,46
22,5	0,793	77177,86	893333,69
23,125	0,815	77586,59	923011,03
23,75	0,837	78202,02	955476,67
24,375	0,859	79018,26	990856,03

La embarcación de este proyecto debe navegar a una velocidad de 21 nudos, esto quiere decir que se requiere una potencia de 828491 W.

18.6. Elección del sistema propulsivo

Para dar solución a esta demanda de potencia, se va a optar por una solución innovadora propuesta por la casa volvo.

Volvo Penta IPS es un sistema de propulsión completo, conformado por el puesto de pilotaje, el motor y las hélices. Es por eso que la calidad y la fiabilidad se deben tener en cuenta, pues el mismo fabricante controla el sistema por completo. A continuación, se explica de manera breve la instalación completa:

1. Unidades propulsoras
2. Motores conectados a las unidades propulsoras
3. Puesto de pilotaje
4. Conectividad adicional en el flybridge
5. Joystick para el atraque
6. Sistema de posicionamiento dinámico

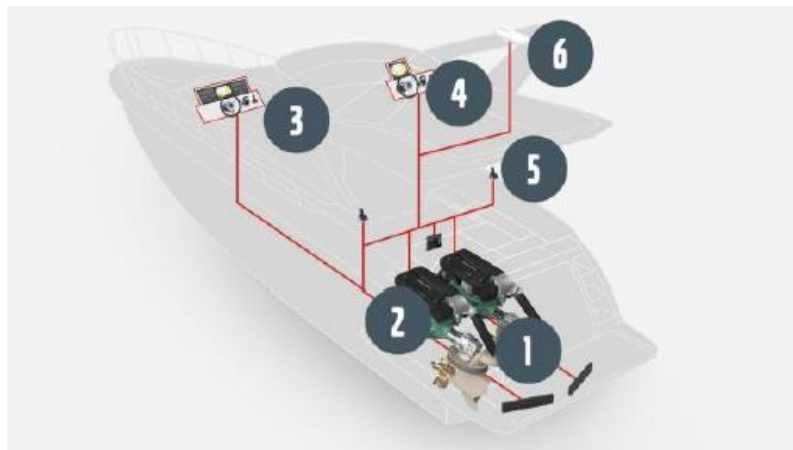


Figura 155 Sistema propulsivo y de gobierno propuesto por volvo.

La característica principal de este tipo de motores es la maniobrabilidad, ya que el funcionamiento de maniobra es similar al azimut, la cabeza que contiene la hélice gira sobre sí misma con la orden del sistema electrónico que le pertenece. Adaptándose automáticamente al rumbo marcado por el patrón, con una intuitiva navegación con joystick y sistema de posicionamiento dinámico, supervisado a través de un sistema que recopila toda la información y la muestra en sus pantallas.

Las hélices son dobles contrarrotantes orientadas a proa cuya unidad propulsora las dirige individualmente. El empuje generado es paralelo al casco, dirigiendo toda la potencia de la embarcación hacia delante. Uno de los aspectos a tener en cuenta de esta motorización es la del escape de gases del motor, pues se emiten a través de las unidades propulsoras.



Figura 156 Unidad propulsora del sistema Volvo Penta IPS con hélices contrarrotantes.

Se nombran algunas ventajas en comparación con sistemas intrabordas convencionales:

- Un 40 % más de autonomía de crucero
- Un 20 % más de velocidad punta
- Un 30 % menos de consumo de combustible
- Un 30 % menos de emisiones de CO₂
- Un 50 % menos de ruido percibido
- Mayor espacio a bordo

Una vez elegida la marca del motor a instalar en la embarcación, se procede a definir la elección de los motores que se necesitarán para vencer la resistencia al avance calculada en los apartados anteriores. Se necesitarán por lo menos 1127 CV de potencia para alcanzar la velocidad de crucero.

De entre toda la gama de motores, se opta por escoger la instalación doble (*Figura 158*) de los motores IPS 1200. Estos ofrecen cada uno una potencia de 848 caballos de vapor. La instalación del conjunto de 2 motores ofrece una potencia total de 1696 caballos de vapor que, con el estudio realizado anteriormente, se estima que con esta potencia la embarcación podría alcanzar cómodamente los 21 nudos de velocidad de crucero y una velocidad máxima de 27,2 kn.

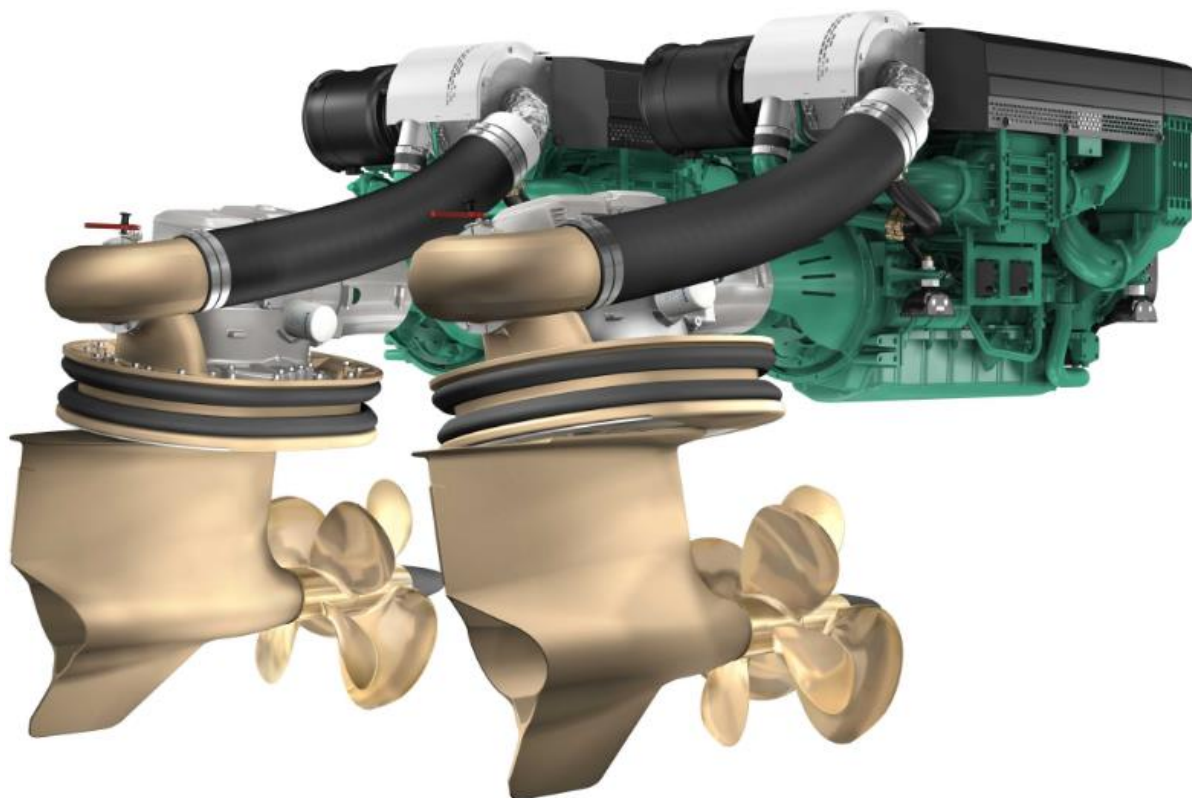


Figura 157 *Instalación doble del sistema propulsivo Volvo Penta IPS.*

19. Sistema de Alimentación de Combustible.

Este sistema tiene como misión proveer de combustible a los motores principales (MP1 y MP2) en las condiciones requeridas. Los generadores de electricidad, utilizan el mismo combustible y por lo tanto utilizarán el mismo sistema ambos.

Las características básicas del sistema vienen definidas por la autonomía, los usos y las especificaciones de los elementos.

Los objetivos principales del diseño son asegurar un servicio adecuado y el menor consumo energético posible.

A diferencia del fuel oil, el diésel no requiere de calefacción ni tratamientos previos a su uso, ya que es un combustible mucho más refinado.

El sistema de combustible consiste en el almacenamiento y el trasiego de este. Las cantidades a almacenar dependerán de la autonomía que se requiera. Los tanques serán estructurales situados en el doble fondo, y por lo tanto el volumen aprovechable de estos se supondrá en el 95%.

19.1. Cálculo del volumen de combustible.

Para el cálculo del volumen de combustible se parte del trayecto a realizar. Para realizarlo en 13 horas, es necesaria una velocidad de 21 kn que se consigue con una potencia de 829 kW, que será entregada por dos motores volvo. A continuación, en las Figuras 158 y 159 se muestran las curvas de funcionamiento del motor y en azul, el punto de trabajo.

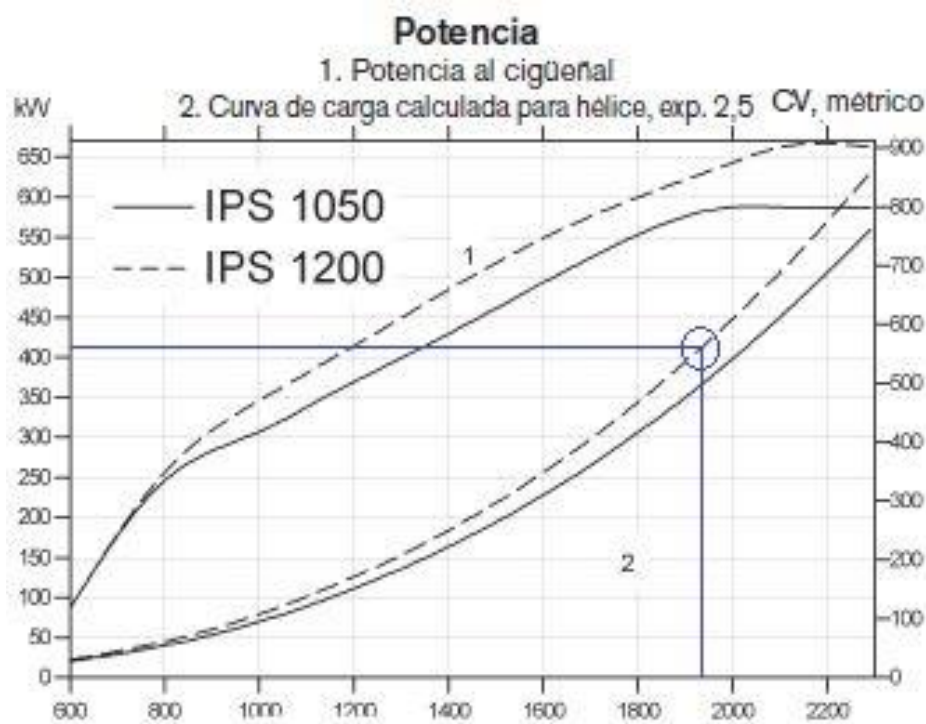


Figura 158 Gráfico de la potencia proporcionada en función de las revoluciones.

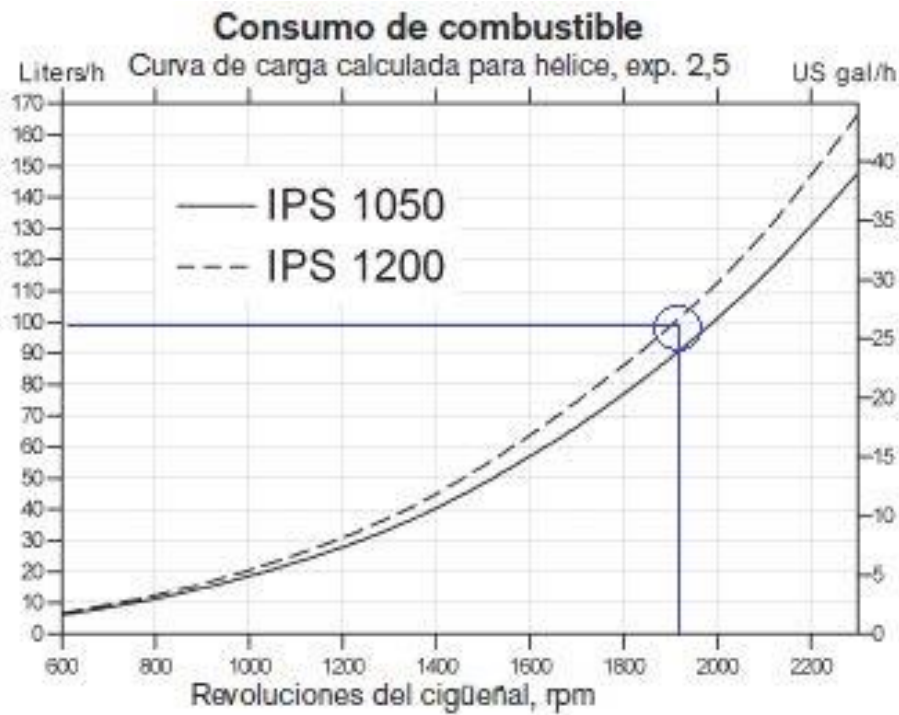


Figura 159 Gráfico del consumo de combustible en función de las revoluciones.

Dichos motores a la potencia necesaria, consumen 100L/h cada uno, que supone un volumen de combustible necesario de 2600l por trayecto para los motores principales. A este volumen se le debe añadir el combustible que consumen los generadores de electricidad. Esto supone 11,5L por hora por equipo, por lo tanto, 299L por trayecto.

Se estimará una autonomía de unas 1100millas náuticas, que supone poder realizar el trayecto 4 veces es decir ir y volver dos veces. Por lo tanto, se llevarán a bordo **11596 litros** de combustible diésel, divididos en tres tanques iguales estructurales y situados en el doble fondo.

CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN

20. Construcción naval

La construcción de un buque es un proceso complicado y sumamente técnico, que exige la coordinación de numerosos trabajadores bajo el control del contratista principal. La construcción naval puede tener carácter civil o militar. Se trata de un sector de índole internacional en el cual astilleros repartidos por todo el mundo compiten por un mercado bastante limitado.

Desde el decenio de 1980, la construcción naval ha cambiado radicalmente. Antes, la mayor parte de los trabajos de construcción naval tenían lugar en los edificios o las gradas de un astillero, donde se iba levantando el barco construyéndolo casi pieza a pieza. El avance tecnológico y una planificación más detallada permiten ahora construir buques a partir de subunidades o módulos que incorporan instalaciones y sistemas integrados. De esta manera, la conexión de los módulos es relativamente fácil de efectuar. Se trata de un proceso más rápido, menos costoso y que asegura un control de calidad más estricto. Además, este tipo de construcción se presta a la automatización y la robotización, lo cual ahorra dinero y reduce la exposición a riesgos de naturaleza química y física.

Las consideraciones de diseño para los diferentes tipos de buques varían enormemente. Hay embarcaciones de transporte de pasajeros y de carga, de superficie y submarinos, militares y civiles, propulsados por energía nuclear o no nuclear. En la fase de diseño, no solo deben tenerse en cuenta los parámetros de construcción normales, sino también aquellos relativos a la seguridad y los peligros para la salud asociados con las operaciones de construcción o reparación de buques. Además, no deben olvidarse los asuntos relativos al medio ambiente.

En la *Figura 160* se ve el diagrama de flujos de los procesos de construcción de un buque.

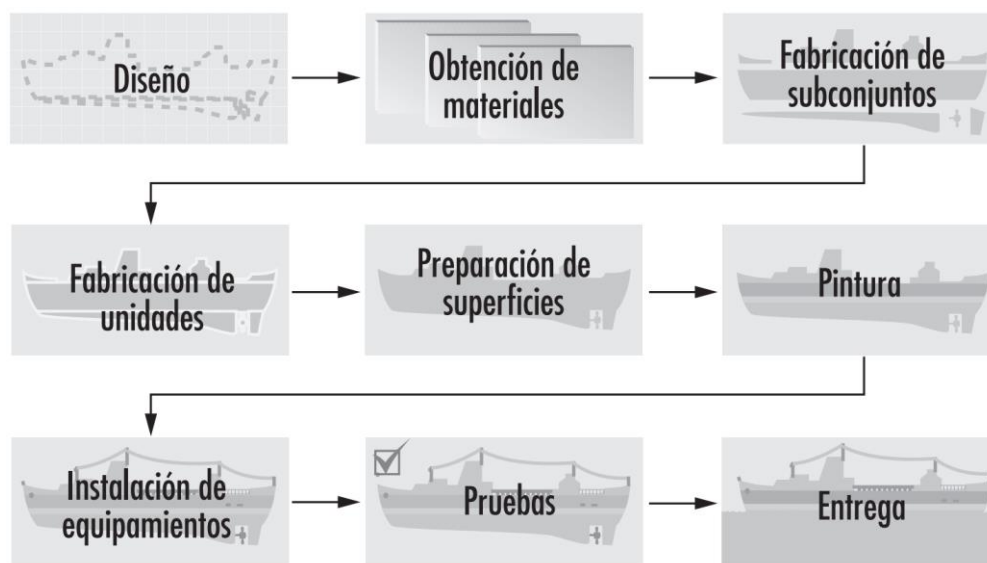


Figura 160 Diagrama de flujos de construcción naval

El componente básico que se emplea en la construcción naval es la plancha de metales. Las planchas se cortan, conforman, curvan y trabajan de la forma necesaria para darles la configuración definida en el diseño. Por lo general, las planchas se cortan en equipos automáticos de corte con soplete; las formas así obtenidas se sueldan a continuación para formar vigas en forma de I y de T u otros largueros estructurales. A continuación, las planchas se envían a los talleres de construcción, donde se ensamblan para formar diversas unidades y subconjuntos. En esta fase se empiezan a montar las conducciones, los equipos eléctricos y el resto de las instalaciones, que se integran en las correspondientes unidades. Estas se montan aplicando técnicas de soldadura manual, automática o de los dos tipos. Son varios los métodos de soldadura utilizados. El más común es el de soldadura por electrodo consumible, que une las piezas de metal con el material del electrodo que se consume. También se utilizan las técnicas de gas inerte, arco blindado y electrodos no consumibles.

A continuación, lo normal es trasladar las unidades o subconjuntos a una zona a cielo abierto donde se unen para formar módulos o unidades aún mayores. Aquí se realizan nuevas operaciones de montaje y soldadura. A continuación, todas las unidades y soldaduras se someten a inspecciones de control de calidad y pruebas radiográficas, ultrasónicas y de otro tipo, tanto destructivas como no destructivas. Las soldaduras defectuosas se eliminan mediante rectificado, agrupamiento con arco o rotura con cortafríos y se aplican de nuevo. En ese momento se limpian las unidades con chorro de arena y se dejan listas para los trabajos de perfilado y pintura. Esta se aplica a brocha, rodillo o pistola, que es el método más común. Muchas pinturas son inflamables, o tóxicas, o peligrosas para el medio ambiente. En este momento se realizan las operaciones de limpieza con chorro de arena y pintura.

Una vez terminadas, las unidades de mayor tamaño se trasladan a la grada, el astillero o la zona de montaje final, donde se ensamblan unas con otras para dar forma al buque. De nuevo se llevan a cabo numerosos trabajos de ajuste y soldadura. Una vez que el casco está estructuralmente terminado y definitivamente estanco, se procede a la botadura, que se hace deslizando el buque desde la grada de construcción hasta el agua, inundando el dique seco o bajando el buque hasta el agua. La botadura suele ser un acto solemne y colorista.

Una vez botado el buque hay que aparejarlo, trabajo que exige gran cantidad de tiempo y de equipamientos: instalación de conducciones y cableado, equipamiento de cocinas y camarotes, aislamiento, instalación de equipos electrónicos y ayudas a la navegación y montaje de las máquinas y otros aparatos auxiliares. Estas tareas se encomiendan a distintos oficios especializados.

Una vez finalizada la fase de aparejamiento, el buque se somete a una serie de pruebas en el muelle y en el mar durante las cuales se verifican todos sus sistemas hasta tener la certeza de que es plenamente funcional y operativo. Por último, una vez terminadas todas las labores de verificación y las reparaciones correspondientes, el buque se entrega al cliente.

20.1. Corte

La línea de montaje del astillero empieza en la zona de almacenamiento del metal. Allí se almacenan listas para su utilización enormes planchas de metal de diferentes tamaños, grosores y resistencias. A continuación, el metal se somete a tratamiento con chorro de arena y recibe una capa de imprimación que lo protege durante las distintas fases del proceso de construcción. Las planchas así preparadas se trasladan a los talleres construcción, donde se cortan al tamaño deseado con sopletes automáticos. Estas piezas cortadas se sueldan entre sí para dar forma a los componentes estructurales del buque.

De la eficiencia de un proceso de corte, dependerá la exactitud de piezas, la precisión de un montaje, e incluso la eficiencia y eficacia se tendrá dentro de un proyecto de construcción naval.

En lo referente a un proceso automático, se utilizan pantógrafos o mesas de corte, en ellos se realiza de forma computarizada los cortes de cualquier pieza en una plancha, teniendo como resultado final un corte generalmente limpio y con la mayor precisión posible. En la *Figura 161* se puede observar el proceso de corte de planchas de metal automatizado.

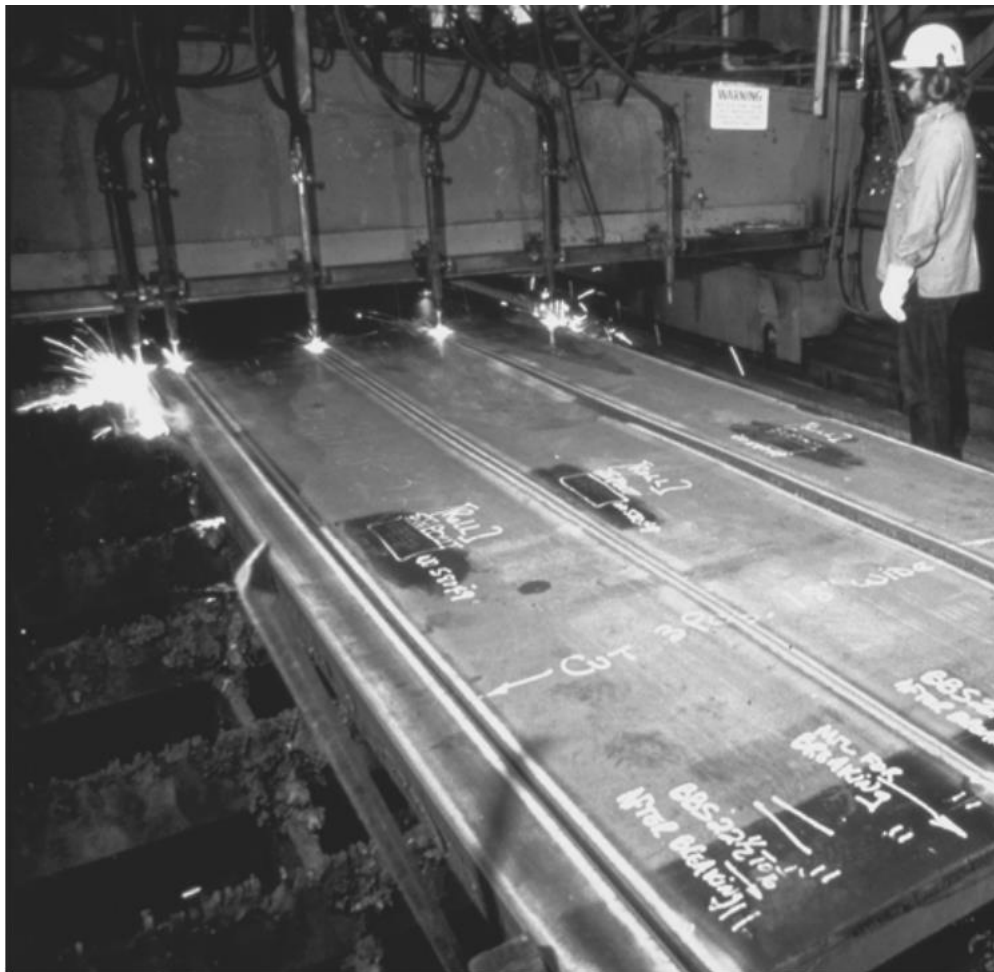


Figura 161 Corte de planchas de metal con soplete automático en un taller de fabricación

20.2. Soldadura

La estructura de la mayor parte de los buques es un conjunto de elementos de metales de gran resistencia. Este material tiene excelentes propiedades de ductilidad y adecuación al mecanizado y la soldadura, así como la resistencia que necesitan los buques transoceánicos. El material básico de la construcción naval es el acero de distintas calidades, pero también se emplean aluminio y otros materiales no férricos en el montaje de algunas superestructuras (alojamientos de cubierta, por ejemplo) y en zonas determinadas del buque. Se emplean materiales especiales, como aceros inoxidable y galvanizado o aleaciones de cobre y níquel como protección frente a la corrosión y para mejorar la integridad estructural del buque. En cualquier caso, los materiales no férricos se utilizan en mucha menor cantidad que los materiales férricos. Los sistemas de a bordo (ventilación, combate, navegación, conducciones) son casi siempre los que consumen mayor cantidad de estos materiales no férricos. Son necesarios para desempeñar una variada serie de funciones: propulsión del buque, potencia de reserva, cocinas, unidades de bombeo de combustible, sistemas de combate, etc.

Esta clase de materiales exigen técnicas de soldadura más complejas para no perder sus cualidades; normalmente se sueldan con varillas específicas de cada material previo calentamiento de las uniones. El objetivo es siempre que la soldadura presente características de resistencia semejantes a las del metal de partida. Como es probable que en los trabajos de soldadura industrial se produzcan algunas imperfecciones de escasa importancia, es práctica frecuente elegir las técnicas y los electrodos de soldadura con el fin de que la unión obtenida sea más resistente que el metal de partida. Por su magnífica relación resistencia/peso, el aluminio ha ido ganado posiciones como metal adecuado para aplicaciones de construcción naval. Aunque su empleo en la construcción de cascos es limitado, las superestructuras de aluminio son cada vez más comunes, tanto en buques militares como civiles. La construcción integral de aluminio suele reservarse a embarcaciones pequeñas, como pesqueros, yates de recreo, pequeños buques de pasajeros. El aluminio utilizado en la construcción y reparación naval está casi siempre aleado con manganeso, magnesio, silicio y zinc. Estas aleaciones son fuertes, ofrecen resistencia a la corrosión y toman bien la soldadura.

Las tareas de soldadura o, más exactamente, de soldadura por fusión se ejecutan prácticamente en todas las zonas del astillero. La técnica consiste básicamente en unir metales llevando las superficies en contacto a una temperatura extremadamente alta hasta que se funden junto con un material de relleno. Los bordes de las piezas se calientan hasta que se funden junto con la soldadura de relleno (electrodo, varilla o alambre). La fuente calorífica es casi siempre una llama de gas o un arco eléctrico. El tipo de soldadura se elige en función de las especificaciones del cliente, el ritmo de producción y diversas limitaciones operativas, entre ellas los reglamentos oficiales. A la construcción de buques de guerra se aplican normas más rigurosas que a la de embarcaciones.

Un aspecto importante de la soldadura con fusión es la protección del arco para no degradar la masa de soldadura. La temperatura de esta masa fundida está muy por encima del punto de fusión del metal que se está soldando. A tales temperaturas, la reacción con el oxígeno y el nitrógeno atmosféricos es muy rápida y afecta negativamente a la resistencia de la soldadura. Si se retiene oxígeno y nitrógeno atmosféricos entre el metal soldado y la varilla fundida, se debilitará el material en la zona de soldadura. Para evitar esta degradación de la soldadura y garantizar su calidad, es necesario evitar el contacto con la atmósfera. En casi todos los casos esto se hace aplicando un fundente, un gas o las dos cosas.

La evaporación y la reacción del fundente con el electrodo inducidas por el calor determinan la emisión de una combinación protectora de vapores y fundente que impide la entrada de oxígeno y nitrógeno en la soldadura. Esta técnica de protección se describirá en los apartados siguientes, dentro de las técnicas de soldadura relevantes.

En la soldadura por arco eléctrico se establece un circuito entre la pieza soldada y un electrodo o un alambre. Cuando uno de estos dos elementos se mantiene cerca de la pieza trabajada, se genera un arco de temperatura extremadamente elevada. El calor que emite el arco es suficiente para fundir los bordes de la pieza trabajada y la punta del alambre o el electrodo; se trata, por tanto, de una técnica de soldadura por fusión. Hay varios métodos de soldadura por arco eléctrico adecuados para la construcción naval. Todos obligan a proteger de la atmósfera la zona de soldadura, y pueden clasificarse en métodos de protección con gas y métodos de protección con fundente.

De acuerdo con los informes elaborados por los fabricantes de equipos de soldadura y de los correspondientes materiales fungibles y no fungibles, el arco con electrodo consumible es el método de soldadura más común.

20.2.1. Soldadura metálica por arco protegido (*Figura 162*)

Los métodos de soldadura con arco eléctrico y protección por fundente se distinguen básicamente por su naturaleza manual o semiautomática y por el tipo de electrodo consumible utilizado. La técnica SMAW utiliza un electrodo consumible (de 30,5 a 46 cm de longitud) revestido de fundente seco, que se monta en un soporte y que el soldador coloca en contacto con la pieza de trabajo. El electrodo es un núcleo de metal de relleno sólido hecho de material fundido o estirado cubierto por una capa de polvos metálicos. La técnica SMAW se llama también “soldadura por electrodo” y “soldadura por arco”. El metal del electrodo está revestido por un fundente que se derrite a medida que se suelda y que recubre de escoria la masa fundida y envuelve toda la zona en una atmósfera de gas protector. La soldadura SMAW manual permite trabajar por debajo del nivel de las manos, en horizontal, en vertical o por encima de la cabeza; también se presta al trabajo semiautomático, con equipos por gravedad que aprovechan el peso del electrodo y el soporte para recorrer la pieza de trabajo.

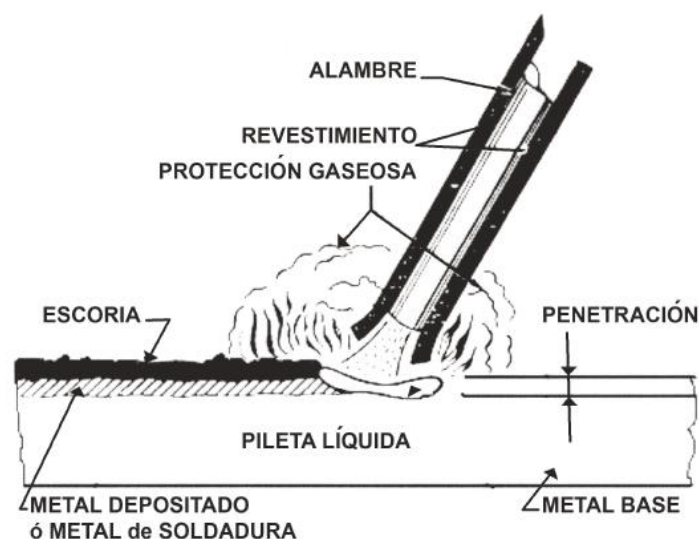


Figura 162 Soldadura metálica por arco protegido (SMAW)

20.2.2. Soldadura por arco sumergido (*Figura163*)

Es una variante de la soldadura por arco eléctrico con protección de material fundente común en muchos astilleros. La técnica consiste en depositar una capa de material fundente granulado sobre la pieza de trabajo para a continuación soldar con un electrodo consumible de alambre metálico sin revestir. Por lo general, el electrodo actúa como material de relleno, aunque en algunos casos se añaden gránulos metálicos al fundente. El fundente cubre el arco, se licúa y protege y aísla la zona soldada. La elevada concentración de calor permite depositar grandes cantidades de soldadura con bastante rapidez. Tras la soldadura, el material fundido queda protegido por una capa de fundente, que puede retirarse y recuperarse. La soldadura por arco sumergido sólo puede aplicarse por debajo del nivel de las manos y es idónea para soldar planchas a tope en líneas de construcción de paneles y zonas de curvatura con rodillos y de construcción de estructuras. Esta técnica se aplica casi siempre con equipos totalmente automáticos montados en un carro móvil o en una plataforma autopropulsada que se desplaza sobre la pieza de trabajo. Al ser el funcionamiento automático, buena parte del tiempo se emplea en alinear la junta de soldadura con la máquina. De igual manera, como el arco SAW actúa bajo una capa de material fundente granulado, la tasa de emisión de humos (FGR) o de formación de humos (FFR) es baja y constante bajo diversas condiciones operativas, siempre que la capa de fundente sea suficiente.

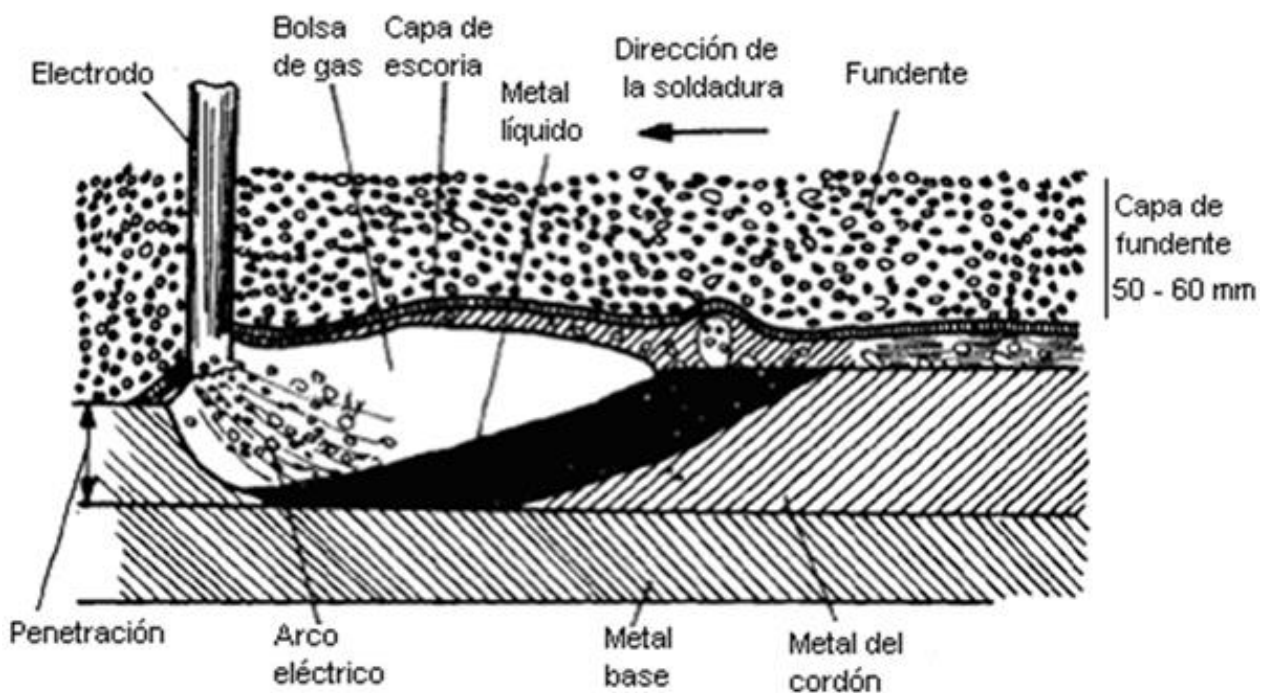


Figura 163 Soldadura por arco sumergido (SAW)

20.2.3. Soldadura por arco metálico en atmósfera gaseosa (*Figura 164*)

Las técnicas con protección gaseosa constituyen una importante categoría dentro de la soldadura con arco eléctrico. Generalmente se utilizan electrodos de metal sin revestir que actúan en una atmósfera externa de protección formada por gases inertes, activos o una combinación de ambos tipos. Por lo general, los métodos GMAW o de soldadura metálica en gas inerte (MIG) emplean atmósferas gaseosas de protección y electrodos de alambre de pequeño diámetro, consumibles y alimentados automáticamente. Son la respuesta al tan deseado proceso de soldadura continua, sin interrupciones para cambiar electrodos, pues utilizan un alimentador de alambre automático. El mecanismo de bobinado aporta alambre de relleno (que es también el electrodo) a velocidad constante o variable en función de la lectura de un sensor de tensión. En el punto de contacto entre el electrodo y el arco, la pistola de soldadura emite un chorro protector de helio o argón. Para trabajos de soldadura de acero puede utilizarse CO₂, un gas inerte o las dos cosas. Suele usarse una combinación de gases para optimizar los costes y la calidad de la soldadura.

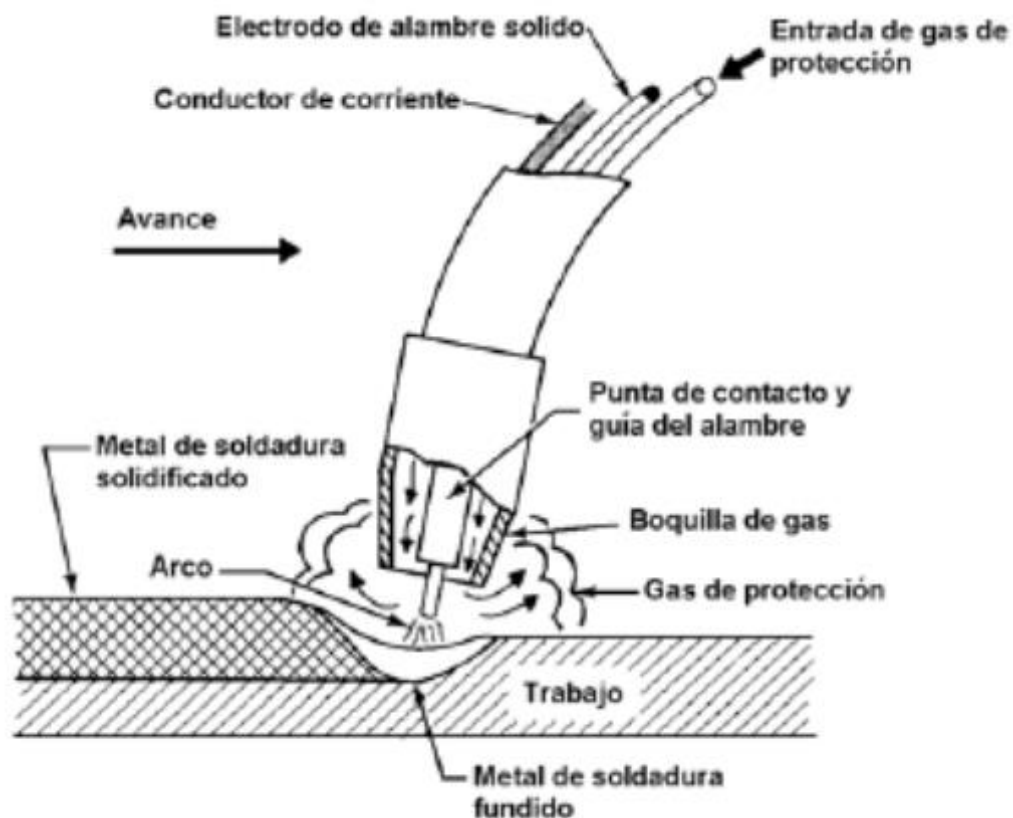


Figura 164 Soldadura por arco metálico en atmosfera gaseosa (GMAW)

20.2.4. Soldadura de arco de tungsteno y protección gaseosa (*Figura 165*)

Otro tipo de soldadura con protección gaseosa es la soldadura por arco de tungsteno con protección gaseosa, conocida en ocasiones como soldadura con gas inerte y tungsteno (TIG), dado que el helio fue el primer gas protector utilizado. Se trató del primero de los “nuevos” métodos de soldadura, presentado unos 25 años después de la soldadura por electrodo. El arco se genera entre la pieza de trabajo y un electrodo de tungsteno que no se consume. El gas inerte, por lo general argón o helio, proporciona la atmósfera protectora y garantiza un trabajo limpio y con pocas emanaciones. En el proceso GTAW, el arco no aporta metal de relleno, sino que simplemente funde el material y el alambre, con lo que se consigue una soldadura más limpia. El GTAW es el método más utilizado en los astilleros para soldar aluminio, planchas metálicas y tubos y conductos de pequeño diámetro, o para depositar el primer pase de las soldaduras múltiples en conductos y accesorios de grandes dimensiones.

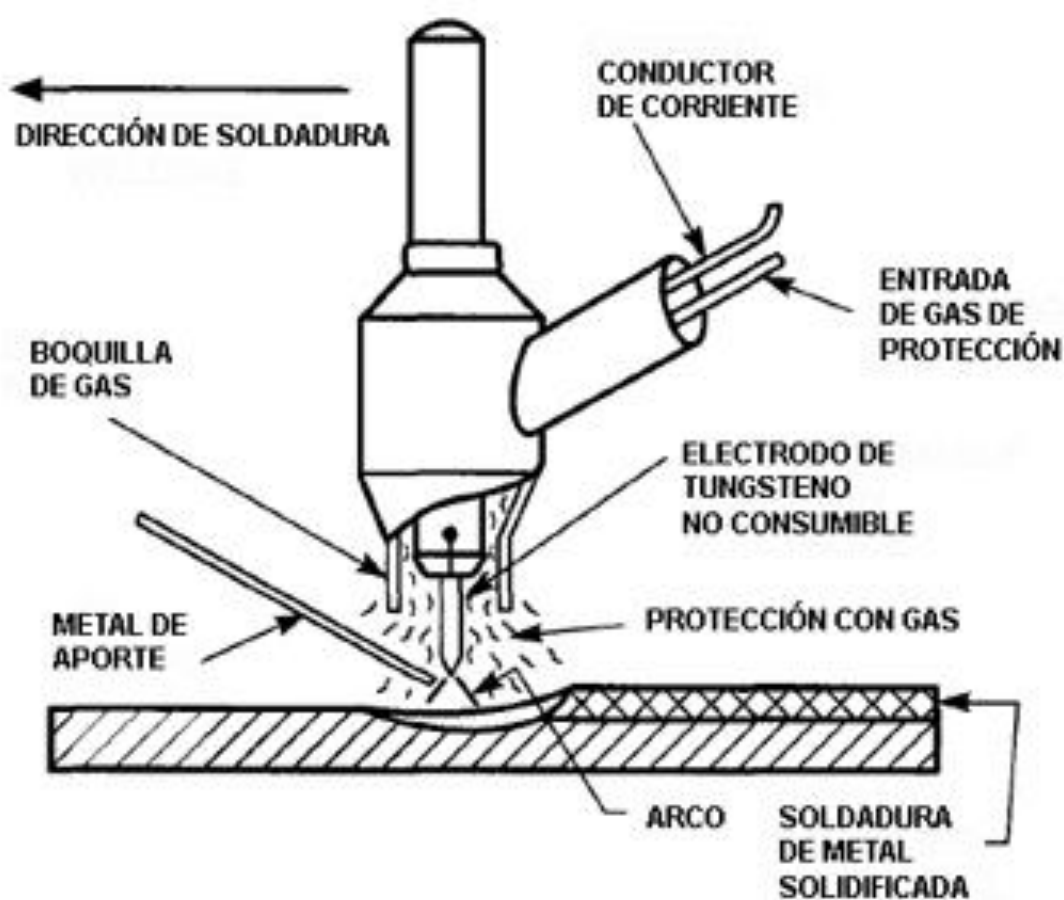


Figura 165 Soldadura de arco de tungsteno (GTAW)

20.2.5. Soldadura por arco con núcleo de material fundente (*Figura 166*)

Utiliza un equipo similar al de GMAW, con un alimentador continuo de alambre. La principal diferencia estriba en que el electrodo de FCAW es un alambre tubular con un núcleo interno de material fundente que protege la zona de soldadura. Algunos alambres con núcleo de fundente proporcionan por sí solos una protección suficiente; sin embargo, muchos trabajos de construcción naval ejecutados mediante FCAW exigen una protección suplementaria, que proporciona una atmósfera de gas, para alcanzar las normas de calidad propias del sector.

El método FCAW rinde una soldadura de calidad, con un ritmo de producción y una eficacia superiores a las alcanzadas con las técnicas SMAW tradicionales. Se presta al trabajo en condiciones muy variadas, como en superficies verticales o por encima del nivel de la cabeza. Los electrodos FCAW son un poco más caros que los materiales SMAW, pero en muchas ocasiones el aumento de calidad y productividad compensan el gasto.

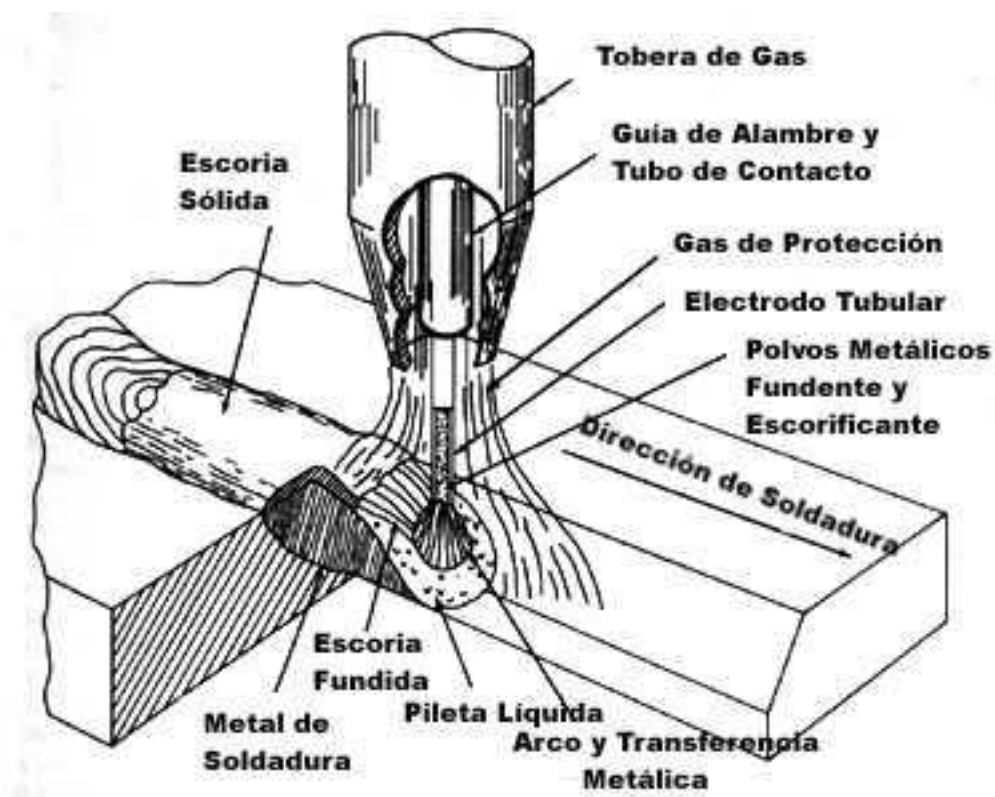


Figura 166 Soldadura por arco con núcleo de material fundente (FCAW)

20.2.6. Soldadura por arco de plasma (*Figura 167*)

El más moderno método de soldadura con protección por atmósfera gaseosa es la soldadura metálica por arco de plasma y con gas inerte. El método PAW es muy similar al GTAW, con la diferencia de que el arco debe atravesar un estrechamiento antes de alcanzar la pieza de trabajo. Se obtiene de este modo un chorro de plasma muy rápido a una temperatura elevadísima. El plasma es una corriente ionizante de gas que sirve de soporte al arco y que se genera cuando éste se fuerza a través de un diminuto orificio del soplete. La técnica PAW forma un arco más caliente y concentrado que permite una soldadura más rápida. Salvo por el orificio que acelera el gas, el PAW es idéntico al GTAW, y utiliza un electrodo de tungsteno no consumible en una atmósfera protectora de gas inerte. La técnica PAW se utiliza casi siempre de forma manual y tiene muy pocas aplicaciones en la construcción naval, aunque en ocasiones se emplea en tareas de metalización con soplete. Su principal aplicación en la construcción naval es el corte de acero

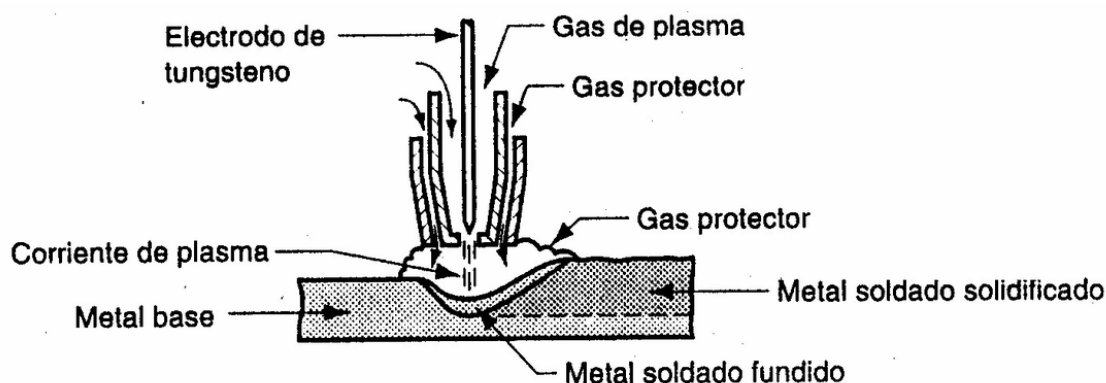


Figura 167 Soldadura por arco de plasma (PAW)

20.2.7. Soldadura con gas (*Figura 168*)

En la soldadura con gas se utiliza el calor generado por la combustión de un gas y normalmente se aporta metal de relleno con una varilla. El combustible más común es una mezcla de acetileno y oxígeno (soldadura oxiacetilénica). El soplete manual dirige la llama a la pieza de trabajo al tiempo que el metal fundido de relleno se deposita en la unión soldada. La superficie de la pieza de trabajo se funde hasta formar una masa de fundición, y el material de relleno penetra en grietas y ranuras. El metal fundido, principalmente metal de relleno, solidifica a medida que el soplete avanza por la pieza de trabajo. La soldadura por gas es relativamente lenta y no se presta al trabajo con equipos automáticos o semiautomáticos, por lo que su uso en astilleros es poco frecuente. El equipo es pequeño y portátil, propio para soldar planchas delgadas (de hasta unos 7 mm), tuberías delgadas y conductos HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) de chapa metálica, canalizaciones para cables eléctricos y soldadura con bronce o estaño. Para cortar se utiliza un equipo idéntico o similar.

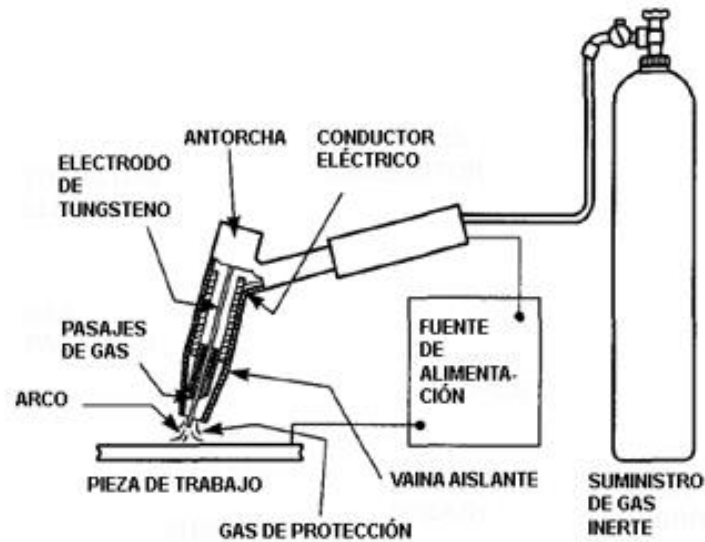


Figura 168 Soldadura con gas

20.2.8. Soldadura por aluminotermia

Se basa en el uso de metal líquido extremadamente caliente para fundir la pieza de trabajo y el material de relleno aportado. El metal líquido se obtiene por reacción química entre un óxido fundido y aluminio. El líquido se vierte en la cavidad que forman las piezas que van a soldarse, y el conjunto se envuelve en un molde de arena. Se trata de una técnica muy similar a la fundición por vaciado, y se utiliza sobre todo para reparar piezas vaciadas o forjadas o grandes secciones estructurales, como el armazón de popa.

20.2.9. Soldadura con láser (Figura 169)

Es una tecnología nueva que utiliza un haz de láser para fundir y unir las piezas. La viabilidad de la soldadura con láser está demostrada, el coste ha impedido hasta ahora su aplicación comercial. El potencial que presenta como técnica de soldadura eficaz y de alta calidad puede generalizar su uso en la construcción naval del futuro.

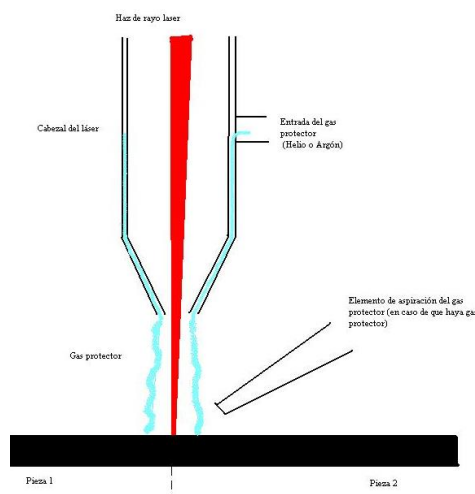


Figura 169 Soldadura con laser

20.2.10. Soldadura por haz de electrones (*Figura 170*)

Consiste en proyectar un chorro de electrones sobre las piezas a través de un orificio y en atmósfera de gas inerte. Esta técnica no se basa en la conductividad térmica del material, y presenta por ello dos ventajas considerables: menor consumo de energía y poco efecto metalúrgico sobre el acero. Como la soldadura por láser, presenta el inconveniente de su elevado coste.

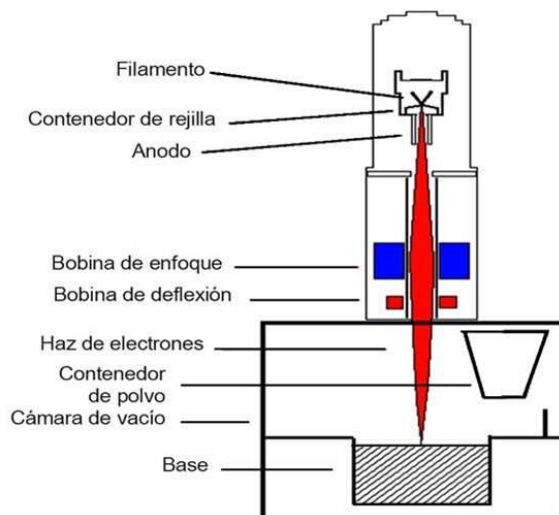


Figura 170 Soldadura por haz de electrones

20.3. Pintura y acabado

Se pinta en casi todos los lugares del astillero. La naturaleza de los trabajos de construcción y reparación de buques obliga a emplear diversos tipos de pintura para aplicaciones distintas, desde productos al agua hasta revestimientos de altas prestaciones. El tipo de pintura adecuado para una aplicación determinada depende de las condiciones a las que vaya a estar expuesta. Los instrumentos de aplicación de pintura van desde los simples rodillos y brochas hasta los pulverizadores sin aire y las máquinas automáticas. En general, hay normas de pintura especiales en las siguientes zonas de los buques:

- bajo el agua (fondo del casco)
- línea de flotación
- superestructuras superiores
- recintos internos y depósitos
- cubiertas a la intemperie
- equipo suelto.

Hay muchos tipos de pinturas para cada una de estas zonas, aunque los buques de guerra suelen regirse por especificaciones distintas que imponen tipos determinados de pintura para cada aplicación. Al elegir la pintura hay que considerar muchas variables: condiciones ambientales, intensidad de la exposición al medio ambiente, tiempos de secado o endurecimiento e instrumentos y métodos de aplicación. Muchos astilleros disponen de zonas e instalaciones reservadas para trabajos de pintura. Los talleres cubiertos son caros, pero en ellos se trabaja con mayor eficacia y se obtienen resultados de mejor calidad. Cuando se pinta al aire libre, el grado de transferencia es menor y sólo se puede trabajar con buen tiempo.

20.3.1. Sistemas de aplicación de pintura utilizados en los astilleros

Las pinturas se aplican a las distintas partes del buque con fines muy variados. Ninguna pintura cumple con todas las condiciones buscadas (protección anticorrosión, anti incrustaciones y resistencia alcalina, por ejemplo). Las pinturas están compuestas por tres ingredientes principales: pigmento, vehículo y disolvente. Los pigmentos son pequeñas partículas que generalmente determinan el color y muchas de las propiedades asociadas a la aplicación. Son ejemplos de pigmentos: óxido de zinc, talco, carbono, alquitrán de hulla, plomo, mica, aluminio y polvo de zinc. El vehículo es un aglutinante que mantiene unidos los pigmentos de la pintura. Muchas pinturas son conocidas por el tipo de aglutinante: epoxi, alquídicas, uretanos, vinílicas, fenólicas. El aglutinante también determina en buena medida las prestaciones de la aplicación: flexibilidad, resistencia a los productos químicos, durabilidad, acabado. El disolvente se añade para aclarar la pintura y facilitar su aplicación a las superficies. La porción de disolvente de la pintura se evapora durante el secado. Entre los disolventes más comunes se cuentan la acetona, los diversos tipos de aguarrás mineral, el xileno, la metiletilcetona y el agua. Las pinturas anticorrosión y anti incrustación se utilizan habitualmente para cascos de buque y constituyen los dos tipos más utilizados en el sector de la construcción.

Las pinturas anticorrosión se fabrican con bases vinílicas de laca o uretánicas o en los nuevos sistemas de recubrimiento de base epoxídica. En la actualidad los sistemas epoxi son muy aceptados y cumplen todos los requisitos de calidad establecidos para el medio ambiente marino.

Las pinturas anti incrustación se utilizan para evitar la proliferación y la adherencia de organismos marinos al casco. Con este fin se utilizan mucho los compuestos a base de cobre. Se trata de pinturas que liberan pequeñas cantidades de sustancias tóxicas en las proximidades del casco del buque. Los colores se obtienen añadiendo negro de humo, óxido de hierro rojo o dióxido de titanio.

20.3.2. Revestimiento de imprimación en astillero

Por lo general, el primer sistema de imprimación que se aplica a las piezas y láminas de acero en bruto es una imprimación de pre construcción llamada a veces “imprimación de taller”. Esta capa es importante para mantener el buen estado de las piezas durante la construcción. La imprimación de pre construcción se aplica a planchas de acero, troqueles, secciones de tuberías y conductos de ventilación. Este tratamiento cumple dos funciones importantes: preservar el acero para el producto final y mejorar la productividad de la construcción. La mayoría de las imprimaciones de pre construcción son ricas en zinc, con aglutinantes orgánicos o inorgánicos. Entre las imprimaciones inorgánicas a base de zinc predominan los silicatos de zinc. Los sistemas de recubrimiento a base de zinc protegen los recubrimientos de una manera muy similar a la galvanización. Si el zinc se aplica sobre acero, el oxígeno reaccionará con aquél para dar óxido de zinc, que forma una capa impermeable que impide que el aire o el agua entren en contacto con el acero.

20.3.3. Equipos de aplicación de pintura

En el sector de la construcción naval son muchos los métodos de aplicación de pintura que se utilizan. Dos muy comunes son los pulverizadores sin aire y los pulverizadores por aire comprimido. Los sistemas de pulverización por aire comprimido pulverizan simultáneamente aire y pintura, con lo que parte de la pintura se atomiza (se seca) rápidamente antes de alcanzar la superficie. La eficiencia en la transferencia de los sistemas de pulverización por aire comprimido oscila entre un 65 y un 80 %. Este bajo rendimiento se debe sobre todo al exceso de aplicación, a las corrientes y a deficiencias del pulverizador; por su bajo poder de transferencia, este tipo de pulverizadores han quedado obsoletos.

El sistema de aplicación de pintura más usado en el sector de la construcción naval es la pulverización sin aire. Se trata de un sistema que simplemente comprime la pintura por un conducto hidráulico que en uno de sus extremos dispone de una boquilla de pulverización; lo que impulsa la pintura es la presión hidrostática, no la neumática. Para reducir el exceso de aplicación y el desperdicio, en los astilleros se está generalizando la utilización de pulverizadores sin aire. Son mucho más limpios que los de aire comprimido y sufren menos fugas que ellos, pues trabajan a menos presión. El rendimiento de la transferencia es de casi el 90 %, según las condiciones. La técnica de HVLP (alto volumen, baja presión) es una novedad en el terreno de la pulverización sin aire que, en determinadas condiciones, mejora aún más el índice de transferencia. Las medidas de eficacia de transferencia son estimativas, y en ellas se tienen en cuenta el goteo y el desperdicio.

20.3.4. Pulverización térmica

La pulverización metálica o por llama es la aplicación sobre el metal de revestimientos de zinc o aluminio como protección anticorrosión de larga duración. Se trata de un proceso de revestimiento utilizado en numerosas aplicaciones, tanto civiles como militares. Se diferencia de las prácticas de revestimiento tradicionales por lo especializado del equipo y por el ritmo de producción relativamente lento. Hay dos tipos básicos de máquinas para aplicación térmica de revestimientos: alambre de combustión y arco térmico. El alambre de combustión es un sistema de llama a base de gases combustibles con un controlador de alimentación de alambre. Los gases combustibles funden el material, que a continuación se pulveriza sobre las piezas. La máquina eléctrica de pulverización térmica, por el contrario, utiliza un arco eléctrico para fundir el material pulverizado por la llama. El equipo incorpora filtración, compresión de aire, arco eléctrico con controlador y pistola pulverizadora para llama de arco. Hay que preparar bien la superficie para que se adhieran los materiales pulverizados por la llama. La forma de preparación más común es el tratamiento con chorro de arena.

El coste inicial de la pulverización térmica es elevado en comparación con el de la pintura, pero resulta económicamente más atractiva cuando se considera todo el ciclo de servicio. Aunque algunos astilleros disponen de sus propias máquinas de pulverización térmica, otros subcontratan este trabajo. La pulverización térmica puede realizarse en el taller o a bordo del buque.

20.3.5. Prácticas y métodos de pintura

Se llevan a cabo tareas de pintura en casi todas las zonas del astillero, desde la imprimación inicial que se aplica al metal hasta los detalles de la pintura definitiva del buque. Los métodos que se emplean al pintar

varían enormemente de un proceso a otro. La pintura se mezcla tanto a mano como mecánicamente, por lo general en una zona rodeada de zanjas de contención y pallets para contención auxiliar; algunas de estas zonas son recintos cubiertos. En el astillero se realizan tareas de pintura tanto a cubierto como al aire libre.

Se utilizan con frecuencia paneles de ladrillo, plástico o acero para contener la pintura pulverizada, neutralizar la acción del viento y capturar las partículas de pintura en suspensión, cuya cantidad se verá reducidas con la implantación de nuevas tecnologías. Al limitar el exceso de pulverización, el astillero ahorra pintura y dinero.

20.3.6. Preparación de superficies y áreas de pintura del astillero

Podemos dividir las prácticas de pintura y de preparación de superficies en el sector de la construcción y la reparación de buques en cinco grandes áreas. Estas ilustran cómo se realizan las tareas de pintura en el astillero.

Pintura de cascos. Los cascos se pintan tanto en operaciones de reparación como durante la construcción de embarcaciones nuevas. Por lo general, cuando se trata de buques en reparación, la preparación de la superficie y la pintura del casco se lleva a cabo en el dique seco (en el dique de carena de un dique seco flotante). En el caso de los buques de nueva construcción, el casco se prepara y se pinta en la posición de construcción empleando alguna de las técnicas anteriormente descritas.

El tratamiento de preparación más común es la limpieza con chorro de arena impulsado por aire o por agua. Este trabajo obliga a utilizar plataformas o equipos elevadores. También la pintura se aplica con pulverizadores y dispositivos elevadores, como ascensores, plataformas de tijera o andamios móviles. Los sistemas para pintar cascos varían de acuerdo al número de capas aplicadas.

Pintura de las superestructuras. La superestructura de un buque comprende las cubiertas abiertas, los alojamientos de cubierta y las demás estructuras dispuestas sobre la cubierta principal. En muchos casos se emplean andamiajes de cubierta para llegar hasta las antenas, los alojamientos y las demás superestructuras. Si hay riesgo de que caiga pintura o restos del material de limpieza a presión al agua que rodea el buque, habrá que adoptar las medidas necesarias para evitarlo. Cuando se trata de buques en reparación, la pintura de las superestructuras suele llevarse a cabo con el buque amarrado. La superficie se prepara con herramientas de mano o con chorro de arena. Una vez preparada la superficie, y tras eliminar los restos de los materiales de limpieza, se empieza a pintar. Por lo general, las pinturas se aplican por pulverización sin aire. Los pintores acceden a las superestructuras por medio de los mismos andamios, escaleras de mano y demás equipos elevadores previamente utilizados en las tareas de preparación. Los protectores colocados para evitar la caída del material chorreado a presión se mantienen para retener la pintura.

Pintura interior de depósitos y de compartimientos. Los depósitos y compartimientos a bordo de los buques han de recubrirse una y otra vez para mantenerlos en servicio. La pintura de depósitos de buques en reparación exige un largo trabajo de preparación de la superficie. La mayoría de los depósitos se encuentran en la parte inferior de los buques (depósitos de lastre, sentinas, depósitos de combustible). Los depósitos se preparan antes de ser pintados lavándolos con disolventes y detergentes que eliminan la grasa y las acumulaciones de combustible. Las aguas residuales generadas durante la limpieza de los depósitos deberán tratarse adecuadamente antes de eliminarlas. Una vez secos los depósitos, se limpian

con chorro de arena; este trabajo exige la instalación de algún sistema de circulación del aire en el interior del depósito y otro de aspiración de partículas abrasivas. Se utilizan sistemas de aspiración de anillo líquido y de husillo giratorio. Los aspiradores han de tener potencia suficiente para aspirar del depósito los restos de la limpieza por abrasión. Por lo general, los sistemas de ventilación y aspiración se encuentran en la superficie del muelle y entran en el buque a través de orificios practicados en el casco. Una vez finalizada la limpieza por abrasión de la superficie, y tras haber sido retirados los restos, se empieza a pintar. Todas las labores de preparación y pintura de las superficies de los depósitos del buque (como el trabajo en recintos cerrados) exigen ventilación y respiradores adecuados.

Preparación de la superficie durante la construcción. Una vez que los bloques o unidades múltiples abandonan la zona de montaje, suelen trasladarse a un área de limpieza por chorro de arena donde se preparan para recibir la pintura. Las superficies se chorrean hasta dejar al aire el metal (se elimina toda la imprimación de construcción). El método más frecuente de preparación de la superficie es el tratamiento con chorro de arena impulsado con aire. La siguiente etapa es la aplicación de pintura. Por lo general, los pintores utilizan equipos de pulverización de pintura sin aire desde plataformas de acceso. Una vez que se ha aplicado el recubrimiento al bloque, éste se traslada a la zona de bloques para ser equipado.

Áreas de pintura de piezas pequeñas. Muchas de las piezas que componen un buque han de recibir un recubrimiento antes de ser instaladas en sus correspondientes bloques: carretes para mangueras, conductos de ventilación, asientos y puertas se han de pintar antes de instalarlos en el bloque.

Las piezas pequeñas suelen prepararse en una zona especial del astillero antes de pintarlas. La pintura en sí puede aplicarse en otro punto distinto de las instalaciones por su mejor adaptación a las necesidades de producción del astillero. Algunas de dichas piezas pequeñas se pintan en los distintos talleres y otras en un local del departamento de pintura.

20.3.7. Preparación de superficies y pintura en bloques y a bordo

Los trabajos de pintura definitivos tienen lugar a bordo, mientras que los retoques suelen efectuarse en los bloques. La pintura de los bloques se retoca por varios motivos. En ocasiones, la pintura ya aplicada ha sufrido daños y hay que restaurarla; otras veces se ha aplicado una pintura incorrecta y es preciso sustituirla. Las pinturas de bloques se hacen con equipos portátiles de limpieza abrasiva y pintura en las áreas de equipamiento de bloques. A bordo del buque hay que pintar las zonas comunes que hay entre los bloques de construcción, y volver a pintar las zonas dañadas por los trabajos de soldadura, reparaciones, equipamiento realizado a bordo, y demás. Las superficies se preparan con herramientas de mano, lijando, cepillando, limpiando con disolventes o utilizando cualesquiera otras técnicas. La pintura se aplica con pulverizadores portátiles sin aire, rodillos y brochas.

20.4. Equipamiento

El equipamiento previo al montaje de los bloques de construcción es el método de construcción naval actualmente empleado en todo el mundo por los astilleros competitivos. Se llama equipamiento a la instalación en los bloques de componentes y subconjuntos diversos (sistemas de conducciones, equipos de ventilación, componentes eléctricos) antes de unirlos entre sí en la fase de montaje. El equipamiento de los bloques en el astillero se presta a la organización en forma de línea de montaje.

El equipamiento a lo largo de la construcción se planifica de manera que el trabajo avance sin interrupciones por todo el astillero. Una vez montada la estructura del bloque, y para simplificar, el equipamiento puede dividirse en tres etapas de construcción principales:

20.4.1. Equipamiento de unidades

En esta etapa se montan aparejos, piezas, asientos, maquinaria y demás materiales con independencia del bloque del casco (es decir, las unidades se montan aparte de los bloques estructurales). El equipamiento de unidades permite a los trabajadores montar en tierra los sistemas y componentes de a bordo, con la consiguiente facilidad de acceso a talleres y maquinaria. Las unidades se instalan en la etapa de construcción a bordo, o en la fase de bloques. La complejidad, las formas y las dimensiones de las unidades son muy variadas. Las unidades grandes y complejas más importantes son las máquinas y sus componentes, las calderas, las salas de bombas y demás áreas complejas del buque. El equipamiento por unidades suele implicar el empalme de conducciones y otros componentes seguido de la conexión que da lugar a las unidades. Los recintos de maquinaria son las zonas del buque donde se encuentra la maquinaria (salas de máquinas, estaciones de bombeo y generadores) y en ellas el equipamiento muy numeroso.

Equipar las unidades en tierra aumenta la seguridad y la eficacia, pues reduce las horas de trabajo que serían necesarias en bloques o a bordo, en recintos más reducidos y en condiciones de trabajo más difíciles.

20.4.2. Equipamiento de bloques

Es la etapa de construcción donde se lleva a cabo la instalación en los bloques de la mayor parte del material de equipamiento. Entre el material de equipamiento que se instala por bloques podemos citar los sistemas de ventilación y de conducciones, las puertas, luces, escaleras de mano, pasamanos, montajes eléctricos, etc. También en esta etapa suelen instalarse muchas unidades. A lo largo de toda la etapa de equipamiento por bloques, éstos pueden izarse, girarse y desplazarse para facilitar la instalación de los materiales de equipamiento en techos, suelos y paredes. Todos los talleres y servicios del astillero han de estar comunicados entre sí en la etapa de equipamiento por bloques, para garantizar que los materiales se instalan correctamente en tiempo y lugar.

20.4.3. Equipamiento a bordo

Empieza cuando los bloques han ido izados a bordo del buque en construcción (después de la fase de montaje). El buque puede encontrarse en posición de construcción (en el dique o en las gradas de construcción) o bien amarrado al muelle. Los bloques ya se encuentran equipados en gran parte, aunque todavía resta mucho trabajo por hacer hasta dejar el buque listo para entrar en servicio. El equipamiento a bordo comprende la instalación de bloques y unidades de grandes dimensiones. Forma parte de estos trabajos de instalación el izado a bordo de bloques y unidades de grandes dimensiones seguido de la soldadura o unión mediante pernos en sus respectivas posiciones. También incluye la conexión entre sí de los sistemas de a bordo (conducciones, ventilación, electricidad). El tendido de cables por todo el buque también se hace durante la etapa de equipamiento a bordo.

20.5. Pruebas

Durante la fase de funcionamiento y pruebas se evalúa la funcionalidad de todos los sistemas y componentes instalados. Es en esta etapa cuando se hacen funcionar, se prueban y se revisan todos los sistemas. Cualquier sistema que por alguna razón no supere las pruebas, será retirado, reparado y revisado de nuevo hasta que sea plenamente operativo. Todos los sistemas de conducciones de a bordo se presurizan para localizar con facilidad la posible presencia de fugas. Asimismo, los depósitos han de pasar las correspondientes pruebas estructurales mediante llenado con líquido (agua dulce o de mar) y el posterior examen de su estabilidad estructural. También se comprueban, entre otros muchos, los sistemas eléctricos y de ventilación. La mayoría de las pruebas de funcionamiento y comprobación de los sistemas tienen lugar con el buque amarrado en el muelle del astillero. No obstante, cada vez se tiende más a efectuar estas pruebas en etapas de construcción anteriores (pruebas preliminares en los talleres de producción).

Realizar estas pruebas en etapas de la construcción anteriores facilita la resolución de averías gracias a la mayor accesibilidad a todos los sistemas, aunque las pruebas con sistemas completos siempre han de efectuarse a bordo del buque. Una vez realizadas todas las pruebas con el buque amarrado, éste se hace a la mar y se somete a nuevas pruebas de navegación antes de que se considere plenamente operativo a efectos de navegabilidad y se entregue a su propietario.

20.6. Seguridad y salud en la construcción naval

Los complejos buques mercantes, de pasajeros y de guerra del decenio de 1990 están formados por toneladas de acero y aluminio más una gran diversidad de materiales. Un solo buque puede encerrar centenares, e incluso millares de kilómetros de conductos y cables, y estar dotado de las más avanzadas centrales eléctricas y los equipos electrónicos más refinados disponibles en la actualidad. Deben construirse y mantenerse de forma que soporten las condiciones ambientales más hostiles y estar al

mismo tiempo dotados de todo el confort y la seguridad necesarios para la tripulación y el pasaje, así como del grado de fiabilidad preciso para llevar a cabo sus misiones.

La construcción y reparación de buques se cuentan entre las actividades industriales más peligrosas del mundo. A título de ejemplo, y según la Oficina Norteamericana de Estadísticas Laborales (BLS), la construcción y reparación de buques está considerada en todo el mundo una de las tres actividades industriales más peligrosas. Aunque los materiales, los métodos de construcción, las herramientas y los equipos se han perfeccionado extraordinariamente con el paso del tiempo y continúan evolucionando y aunque la formación y el hincapié en materia de salud y seguridad han contribuido a mejorar de manera sustancial las condiciones de trabajo en los astilleros, lo cierto es que en todo el mundo y todos los años se producen lesiones graves e incluso mortales entre los trabajadores del sector de la reparación, la construcción y el mantenimiento de buques.

A pesar de los avances tecnológicos, muchas de las tareas y condiciones asociadas con las operaciones de construcción, botadura, mantenimiento y reparación de buques siguen siendo en la actualidad, básicamente iguales que cuando se colocó la primera quilla hace miles de años. El tamaño y la forma de los componentes de un buque, así como la complejidad propia de su montaje y equipamiento, impiden automatizar los trabajos, aunque el avance tecnológico ha aportado cierto grado de automatización. Las tareas de reparación se resisten firmemente a la modernización. El trabajo en el sector exige mucha mano de obra muy cualificada, que con frecuencia se ve obligada a trabajar en circunstancias muy alejadas de las ideales y en condiciones físicas muy difíciles.

Las propias condiciones naturales dificultan mucho el trabajo en los astilleros. Aunque unos pocos están habilitados para realizar bajo techo trabajos de construcción o de reparación de buques, en casi todos se trabaja al aire libre. Gran parte de estos trabajos se llevan a cabo sobre el agua, bajo ella o en sus proximidades y, a menudo, a las rápidas corrientes de marea se suman los vientos que hacen cabecear y oscilar las mismas superficies de trabajo en que los trabajadores han de efectuar trabajos de gran precisión y en las posturas más variadas, utilizando herramientas y equipos potencialmente muy peligrosos para su integridad física. La fuerza de estos vientos, con frecuencia imprevisibles, hay que tenerla muy en cuenta a la hora de mover, suspender o colocar con ayuda de una o varias grúas de izada.

A medida que el buque va tomando forma a partir de las primeras planchas de metal que constituyen la quilla, se va convirtiendo en un lugar cada vez más complejo que lleva asociado un subconjunto en constante cambio de peligros potenciales y situaciones de riesgo que requieren, no sólo procedimientos bien fundamentados para la correcta realización del trabajo, sino también mecanismos para identificar y resolver los miles de imprevistos que invariablemente surgen a lo largo del proceso de construcción. Conforme el buque adquiere entidad, van añadiéndose plataformas y andamiajes para facilitar el acceso al casco. La misma construcción real de esta red de plataformas es un trabajo muy especializado y en ocasiones peligroso; y su terminación supone un aumento del riesgo al que están expuestos los trabajadores, proporcional a la elevación de esta estructura sobre el suelo o la superficie del agua. El interior del buque va tomando forma al mismo tiempo que el casco, pues los modernos métodos de construcción permiten apilar unos sobre otros los grandes subconjuntos que forman los recintos interiores de la nave.

Es en este punto del proceso cuando la enorme necesidad de mano de obra de esta actividad resulta más evidente. Las medidas de salud y seguridad deben estar bien coordinadas. La conciencia de los trabajadores (de su propia seguridad y la de quienes les rodean) es fundamental para evitar accidentes laborales.

Cada uno de los recintos interiores del casco está diseñado con un propósito concreto. El casco puede ser un simple hueco destinado a contener lastre o bien albergar depósitos, contenedores de carga, camarotes o un refinado centro de control de combate. En cada caso, la construcción del buque obligará a numerosos especialistas a trabajar muy cerca unos de otros para realizar una variada gama de tareas. En una situación típica, los fontaneros estarán montando válvulas al mismo tiempo que los electricistas tienden cables e instalan circuitos, los pintores aplican retoques, los montadores navales colocan y sueldan planchas en cubierta, las cuadrillas de carpinteros y los especialistas en aislamiento hacen su labor y los controladores comprueban si cierto sistema se activa, todo ello en un mismo sitio. Tales situaciones, y otras aún más complejas, se dan a diario siguiendo una pauta marcada por los cambios del programa, las modificaciones técnicas, la disponibilidad de personal y hasta las condiciones climatológicas. La aplicación de revestimientos entraña numerosos riesgos. Los trabajos de pintura a pistola deben llevarse a cabo frecuentemente en recintos cerrados, en un ambiente enrarecido por la presencia de partículas volátiles de pinturas, disolventes y diversos revestimientos, caracterizados por su capacidad sensibilizadora.

Con el paso de los años, y gracias al desarrollo de mejores equipos, de métodos de construcción más eficaces, de instalaciones más seguras y de un personal mejor formado, se ha progresado mucho en el terreno de la salud y la seguridad de los trabajadores de los astilleros. No obstante, los mayores avances se han logrado, y continúan lográndose, centrando la atención en el trabajador individual y eliminando las conductas que más contribuyen a la accidentalidad. Si bien esto es aplicable a la práctica totalidad de los sectores industriales, la gran cantidad de mano de obra propia del trabajo en los astilleros lo convierte en un factor de especial relevancia. A medida que avanzamos hacia programas de salud y seguridad que suponen una más activa participación de los trabajadores y que incorporan sus ideas, no sólo se alcanzan grados más altos de conciencia del riesgo propio de la actividad y de la forma de evitar accidentes, sino que además los propios trabajadores empiezan a considerar los programas como algo suyo. Sólo así se obtienen resultados y se alcanzan los objetivos perseguidos en materia de salud y seguridad.

21. Aluminio para la construcción naval

Existen muchos materiales de construcción naval, pero entre todos ellos, el aluminio se perfila como uno de los materiales de construcción naval con más ventajas.

La principal razón para utilizar el aluminio es su alta relación resistencia-peso, tiene una alta resistencia, esto se traduce en menos averías, no tiene problemas de ósmosis, ni fisuras.

Los cascos fabricados con aluminio, al realizarse mediante soldadura de todas sus piezas estructurales y éstas a su vez con las chapas de recubrimiento, adopta una estructura totalmente compacta que produce una gran rigidez estructural, traduciéndose en menores fatigas del material.

Los cascos metálicos permiten soldar los distintos elementos de la cubierta o del interior directamente a su estructura, consiguiendo una estanqueidad muy buena.

La alta ligereza del aluminio, supone mejor maniobrabilidad, así como mayores prestaciones y menor consumo de combustible.

El aluminio no necesita ser pintado pues es prácticamente inmune a la corrosión. Por ello, es normal ver cascos totalmente desnudos y brillantes como acabado final para tales embarcaciones. La obra viva necesitará necesariamente la aplicación de anti incrustantes.

La reparación en aluminio es muy sencilla, puesto que una abolladura en el casco se puede reparar en tan sólo unas horas, cortando la chapa y soldando una nueva, devolviendo la embarcación a su estado original con total garantía de resistencia del casco.

El aluminio no se deteriora por la exposición permanente a los rayos solares. Tampoco sufre los efectos de la ósmosis, y resiste mucho mejor la incrustación de organismos marinos cuando la embarcación lleva mucho tiempo inactiva. Esto supone que después de los años, las embarcaciones de aluminio mantienen sus condiciones iniciales.

21.1. Manejo y almacenaje

Los daños superficiales pueden causar dificultades de soldar y ser origen de corrosión durante la vida de servicios de la estructura, a consecuencia de las partículas que puedan quedar incrustadas.

El aluminio deberá almacenarse bajo techo, de preferencia en un ambiente controlado, manteniéndolo alejado del acero y de otros metales. Las láminas no deberán quedar nunca dentro de sus cajas de empaque, deben desempacarse y separarse de cualquier otro material situado entre ellas; para ello, se colocan verticalmente en armaduras de madera o de aluminio, pero nunca de acero o de concreto.

21.2. Corte

El aluminio puede cortarse utilizando la mayoría de los instrumentos de corte de metales normales. Probablemente el aserrado es el método más habitual entre los utilizados para cortar el aluminio destinado a la construcción de buques. Las sierras de banda con garganta amplia y velocidades de corte

de 1.500-1.800 m/min, pueden aplicarse en la mayoría de los casos. Las sierras circulares de alta potencia manuales, tal como las que se utilizan para la madera, pero equipadas con dientes de carburo, pueden dar un corte de buena calidad en líneas rectas o en curvas de mucho radio. Las sierras de mano de vaivén, son muy útiles para cortes interiores y curvas cerradas.

Los trazadores, tanto de mano como de brazo radial, producen un buen corte a velocidad razonable, pero requieren de buenas plantillas para obtener los mejores resultados. Esto limita su empleo en las líneas de producción. Los cortes para aluminio más utilizados son:

21.2.1. Corte por arco de plasma (*Figura 171*)

El mejor método para cortar el aluminio es el que utiliza el corte por arco de plasma, con él se cortan las aleaciones de aluminio fácilmente, Sin embargo, el equipo es costoso.

Los sopletes para corte con plasma pueden utilizarse en todos los tipos de máquinas de perfilar que operen con una velocidad elevada.

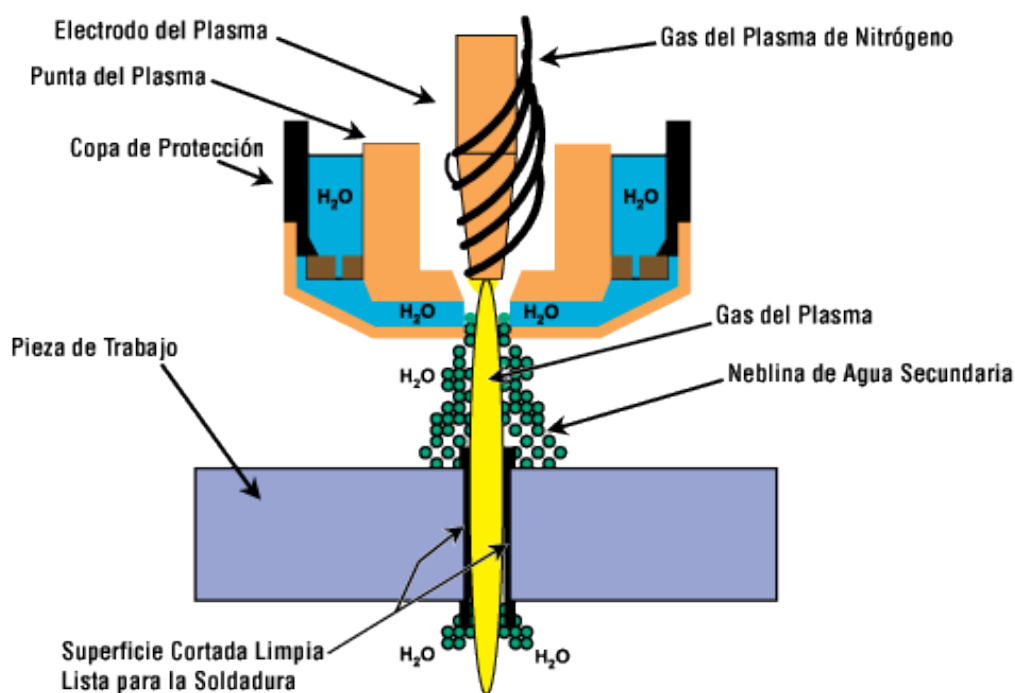


Figura 171 Corte por arco de plasma

21.2.2. Corte por rayo láser (*Figura 172*)

Un láser (luz amplificada por la estimulación de emisiones de radiación), genera un rayo de luz consistente en una longitud de onda esencialmente constante; cuando este rayo es fijado en una superficie, hay suficiente energía concentrada en este punto que el material puede ser fusionado o vaporizado.

La longitud de onda de la luz proveniente del láser con CO₂ es de 10,6 micrómetros y esta longitud de onda es fácilmente absorbida por la mayoría de los sólidos permitiendo al láser con CO₂ usarse en una amplia variedad de materiales; esta gran longitud de onda tiene una desventaja la cual, no puede ser transferida por cristal o fibra óptica, sino que requiere de espejos reflectantes de metal para manipular el rayo y materiales, seleniuro de zinc o arseniuro de galio para enfocar el lente. La luz del láser con Nd-YAG dispone de magnitudes menores de 1,06 micrómetros permitiendo el uso de lentes de cristal para enfocar y cables de fibra óptica para transmitir el rayo.

Con el láser de ondas continuas hay más derretimiento que vaporización y un gas asistente se usa para soplar el vapor y el metal derretido, creando un corte limpio y angosto, claramente delineado por el rayo a lo largo del material. El láser con pulsos generalmente provee bastante energía, de tal manera que imparte suficiente fuerza para que el mismo vapor remueva cualquier metal derretido.

El gas asistente se introduce a través de la boquilla de corte, esto es usado no sólo para soplar y eliminar cualquier metal derretido, sino que además para proteger el lente de salpicaduras o restos provenientes del corte.

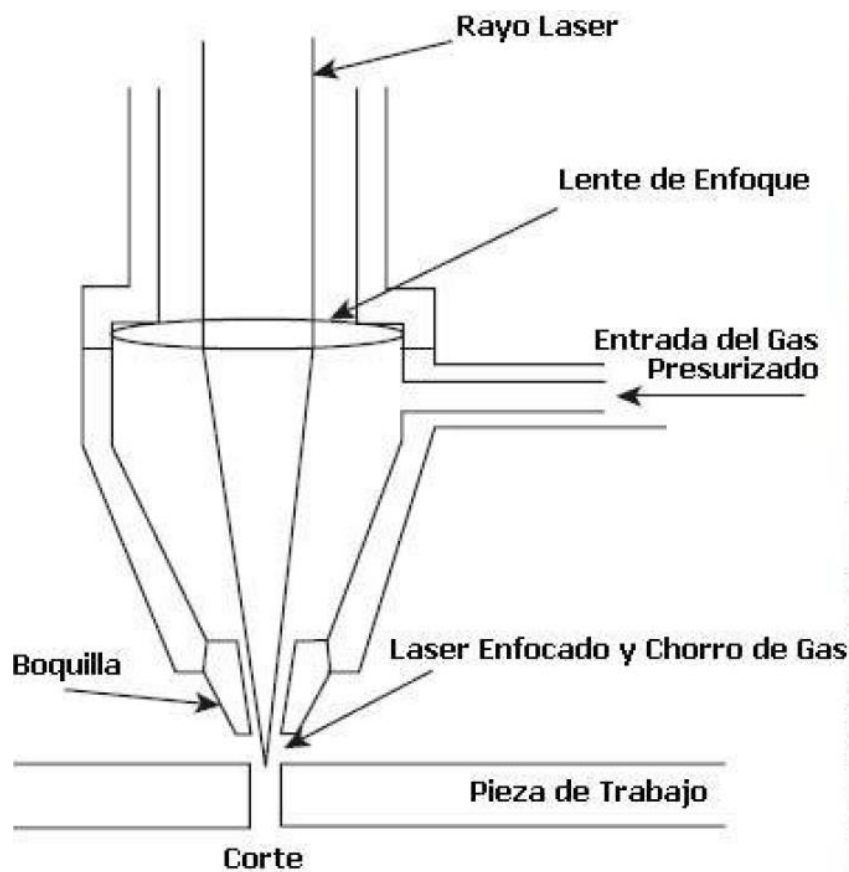


Figura 172 Corte por rayo laser

Los gases asistentes para cortar aluminio pueden ser oxígeno o nitrógeno. El oxígeno, es un gas reactivo frente al aluminio y da mayor velocidad de corte que el nitrógeno; sin embargo, el nitrógeno da mejores resultados en calidad de corte en acabado y rugosidad.

La presión del gas es una variable muy importante, y por lo tanto es necesaria para controlar y dar la mejor calidad de corte (las altas presiones de gas dan la más efectiva remoción del metal, pero también puede dañar el lente de enfoque), como la presión del gas asistente es incrementada, el lente también debe

aumentar su espesor para conllevar el aumento de la presión; la presión del gas en el corte es también influenciada por la distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo.

La relación entre la distancia y la presión en la mayoría de los cortes con láser son hechos con velocidades supersónicas del gas; es esencial que la distancia al punto muerto y las condiciones de la boquilla sean estrictamente controladas para proveer un corte consistente y de alta calidad.

21.2.3. Corte con chorro de agua

El corte con chorro de agua introduce un poder abrasivo de alta presión y la velocidad del chorro de agua es capaz de cortar materiales metálicos y no metálicos, esencialmente por un proceso de erosión. La velocidad del agua es de 2500 Km/h y la presión del agua entre 30000 a 60000 psi. Uno de los más importantes usos del corte con agua es eliminar la rugosidad de las piezas, con la ventaja de que no hay temperatura en el proceso, por lo que el calor no afecta a la zona de trabajo y no hay distorsiones térmicas; las partes pueden cortarse en forma precisa y correcta. La tolerancia de las piezas cortadas es muy pequeña, simplificando el acondicionamiento de la faena para la soldadura.

21.3. Soldadura

Existen dos métodos para unir el aluminio en la construcción de buques: el remachado y la soldadura. El remachado se utiliza para unir materiales delgados y tiene la ventaja de causar poca distorsión; sin embargo, requiere mucho tiempo y se desperdician materiales, ya que se requiere un solapeo en todas las uniones. Cabe señalar que este método ya no se practica en estos días y ha sido remplazada totalmente por la soldadura. La acción de soldar es a la vez más rápida y más económica en cuanto a la utilización del material, pero debe prestarse mucha atención, tanto en el diseño como en la secuencia en la construcción, puesto que la distorsión ha de mantenerse a un nivel aceptable. Puede utilizarse la soldadura tanto con gas, como con arco para el aluminio.

Los únicos métodos disponibles para soldadura en la construcción de embarcaciones de aluminio son los de gas inerte de tungsteno (TIG) y de gas inerte de metal (MIG). En ambos procesos se utiliza gas inerte, por lo general argón, con el fin de proteger de contaminación la zona fundida de soldadura durante el proceso de soldado.

En la tabla 24, se puede observar las propiedades mecánicas mínimas para aleaciones de aluminio con soldadura.

La película de óxido que da al aluminio su resistencia a la corrosión dificulta soldar por lo que deberá eliminarse impidiendo su formación, si se han de hacer soldaduras. La soldadura con arco de gas inerte elimina el óxido mediante el arco, impidiendo que se vuelva a formar por la presencia del gas inerte.

La soldadura del aluminio tiende a sufrir porosidad, por lo que el hidrógeno disuelto en el metal fundido y el material que contiene hidrógeno, por ejemplo, agua, aceite, pintura y otros, deben eliminarse antes de soldar. La limpieza del aluminio antes de soldar es extremadamente importante y no debe omitirse si

se pretende realizar soldaduras de calidad. En la *Tabla 24*, se puede observar las propiedades mínimas para soldadura de aleaciones de aluminio.

La zona adyacente a la unión debe estar libre de grasa, utilizando al limpiarla un solvente volátil, tal como acetona. La suciedad muy densa y las manchas se eliminan con un limpiador con base de ácido, después se recomienda lavar con agua y dejar secar.

Después de la limpieza deben unirse las juntas para soldarlas, trabajo que se lleva a cabo en un taller limpio y seco.

Hay dos formas de soldar Las aleaciones de aluminio utilizadas en la construcción naval:

Soldadura por arco metálico en atmósfera gaseosa (GMAW). (1.1.2. Soldadura, GMAW).

Soldadura de arco de tungsteno y protección gaseosa (GTAW). (1.1.2. Soldadura, GTAW).

Tabla 24 *Propiedades mecánicas mínimas para aleaciones de aluminio con soldadura*

<i>Alloy</i>	<i>Ultimate Tensile Strength (U_{al})</i>	<i>Yield Strength (Y_{al})⁽²⁾</i>	<i>Shear Strength (τ_a)⁽²⁾</i>
	<i>N/mm² (psi)</i>	<i>N/mm² (psi)</i>	<i>N/mm² (psi)</i>
5083-H111	269 (39000)	145 (21000)	83 (12000)
5083-H116, H321	276 (40000)	165 (24000)	96 (14000)
5083-H323, H343	276 (40000)	165 (24000)	96 (14000)

Ver ANEXO 1: normativa de soldadura de aluminio para la construcción naval.

21.4. Pintura

La parte más importante en la secuencia de la pintura en su conjunto es la preparación. Si ésta no se realiza correctamente, la pintura no se adherirá.

La película de óxido en las aleaciones de aluminio tiene una superficie a la que no se adhiere bien la pintura, incluso cuando se use una pintura base. El desengrasado no basta. La superficie deberá lijarse superficialmente y desengrasarse, o bien tratarla con un limpiador de aluminio que deja una superficie levemente grabada al agua fuerte, y a continuación se lava con agua dulce.

Tan pronto como se seca la superficie, debe aplicarse una primera capa de pintura base y dentro de 24 horas se aplica la capa siguiente de la misma.

21.4.1. Preparación de la superficie

En el caso del aluminio, la capa de óxido, aunque su espesor no sea de más de unas micras, es muy dura y difícil de eliminar. Debe quitarse antes de pintar:

1. Limpiar y desengrasar cuidadosamente.

CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN

2. Aclarar con agua dulce y dejar secar.
3. Chorreado con abrasivo que no sean metálicos a baja presión o lijar con papel de grano.
4. Eliminar polvo y herrumbre con cepillo, aspirador o aire a presión.
5. Aplicar una imprimación epoxi.
6. Pintar.

No se pueden utilizar anti incrustantes que contienen cobre.

Debe haber suficientes ánodos de zinc en los fondos de las embarcaciones de aluminio, y se debe tener cuidado de no aplicar pintura en los ánodos. Si la embarcación ha estado en tierra durante algún tiempo, los ánodos de zinc se oxidarán en la superficie, recubriéndose de una capa blanquecina de óxido de zinc, reduciendo su efectividad. Por tanto, debe lijarse la superficie antes de botar la embarcación.

La primera capa de imprimación epoxi debe diluirse un 25% para asegurar una mejor adherencia de la pintura al aluminio.

22. Construcción del yate Balboa

La construcción es la parte práctica de la arquitectura naval, consistente en efectuar las operaciones necesarias de labra, unión y consolidación de las distintas piezas que han de construir el barco, el cual debe ser construido con sujeción al proyecto hecho de antemano. En este capítulo ejecutamos los estudios realizados para el diseño de la estructura y los sistemas del yate. En la fase de diseño, no solo deben tenerse en cuenta los parámetros de construcción normales, sino también aquellos relativos a la seguridad y los peligros para la salud asociados con las operaciones de construcción o reparación de buques. Además, no deben olvidarse los asuntos relativos al medio ambiente.

El objetivo es conseguir un proyecto completo, preparado para enfrentarse a la demanda de embarcaciones de recreo, compitiendo en un mercado muy limitado y concreto.

La construcción se efectuará en un astillero con trabajadores cualificados, infraestructuras y equipamiento con espacio suficiente para este proyecto.

Definir programación de los procesos implicados dentro de la construcción e instalación de sistemas dentro de la embarcación, especificando los tiempos, trabajos y localidad utilizados en cada proceso, con presupuesto de materiales, sistemas, costes operativos y costes de instalación.

22.1. Localización

La construcción de este yate se debe construir en un astillero preparado técnica y tecnológicamente para realizar todos los procesos que esta requiere. En el territorio panameño se podría construir en los Astilleros MEC, Puerto de Balboa, Panamá (*Figura 173*).

Su experiencia en el sector les dota con infraestructuras y equipamiento necesarios para esta construcción, cuenta con contactos necesarios para obtención de materiales y sistemas.

El Astillero Balboa está ubicado en el Puerto de Balboa en la entrada del Pacífico al Canal de Panamá. Las instalaciones cuentan diques secos (*Tabla 25*), instalaciones de almacén, talleres y equipamiento que ofrecen servicios de reparación, pero con las características para la construcción de esta embarcación.

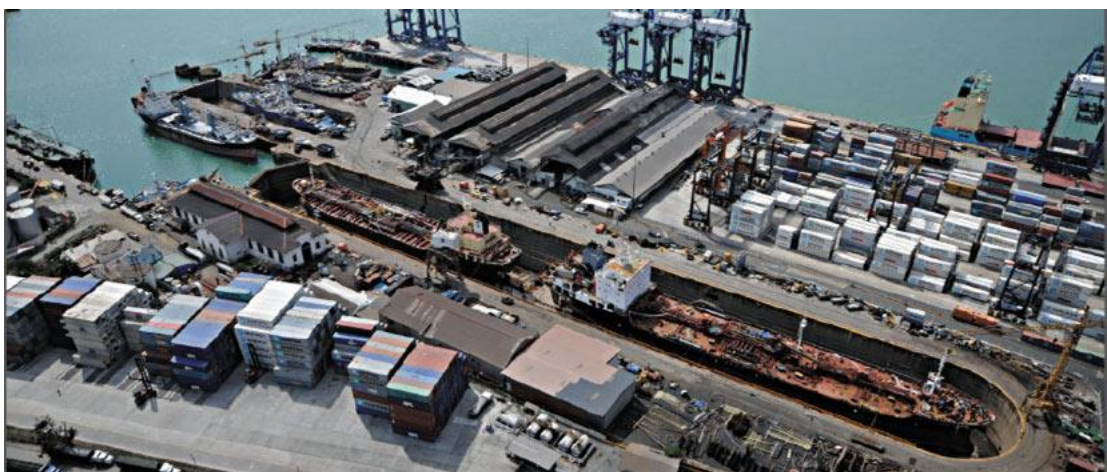


Figura 173 Astillero Balboa

Tabla 25 Dimensiones diques Astillero Balboa

Dique	Tamaño	Entrada	Calado máximo
1	318m x 39m	33m	7.9m
2	130m x 30.5m	26m	6.4m
3	70m x 17m	17m	4.3m

Las instalaciones y servicios van desde talleres de tubos y chapas de metal, están equipados con cortadores computarizados, prensas hidráulicas de 400 toneladas, equipos de soldadura MIG y TIG automatizados, servicios de granallado y pulverización de pintura, entre otros.

Cuenta con tres diques. El dique 2 cuenta con las medidas perfectas para la eslora de nuestra embarcación. En este dique es donde tendrá lugar la mayor parte de los procesos de construcción del yate.

22.2. Equipamiento

El astillero cuenta con equipamiento y personal preparado para la construcción de un proyecto como el de la construcción de esta embarcación.

Con talleres y almacenes, y con maquinaria para poder cortar, soldar y mover todas las piezas; ofrece el equipamiento siguiente:

Tabla 26 Equipamiento Astillero Balboa

Qty.	Model
5	5 Ton CAT Forklift
2	Bob CAT Loader
2	5 Ton CAT Telehandler
5	18 m Man Lift / Cherry Pickers
5	CAT 400 Kw Generators Sets

CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN

7	GS Pioneer Pumps
4	Scissor Lifters
1	CAT Back Loader
4	900 Cfm Kaiser Electric Compressor
1	900 Cfm Kaiser Diesel Compressor
2	10,000 Psi Aquadine x 4 discharge Lines with Guns High Pressure Water Machine
40	Western Technology Explosion Proof Led Brick Lights 11,000 lummins each.
4	2,000 CFM DryCo Dehumifiers
12	Graco Airless Paint Machines x 2 lines each.
15	8,000 CFM Hartzell Ventilators for Confined Spaces x 3 distribution nozzles each
5	2,500 CFM Explosion Proof Force Ventilators
6	International Truck
6	40 ft container chasis
6	20 ft container chasis
6	40 ft extendable flat bed
1	45 Ton Crane
1	30 Ton Crane
1	30 Ton RTG Crane
3	10 Ton Potain MC205B Tower Crane
3	45 Ton Overhead Bridge Cranes

22.3. Inventario

Previamente a la construcción, es necesaria una estimación de los materiales, productos y equipamiento para construir la embarcación. Es importante ordenar y programar la obtención de estos para poder cumplir fluidamente todos los procesos de la construcción, y tener una estimación del inventario.

22.3.1. Estructura

El material para la construcción de la estructura es el aluminio de aleación con magnesio 5083, la aleación de aluminio más utilizada por sus características: reacciona bien ante ambientes agresivos como el agua de mar, también tiene una fuerza excepcional después de soldar.

Ver especificaciones, composición química, propiedades físicas y químicas, soldabilidad y fabricación en el ANEXO 2.

Para toda la estructura, tanto del casco como de la superestructura, utilizaremos aluminio 5053, la cantidad de aluminio que necesitamos lo sacamos del diseño de la estructura, añadiendo los espesores especificados a todas las piezas de la estructura.

Tabla 27 Dimensiones de aluminio por piezas

Aluminio 5083	Área (m²)	Espesor(mm)	Volumen (m³)
Mamparos	68,6222	15	1,029333
Anillos	62,51047	15	0,93765705
Ref. longitudinales	152,4566	12	1,8294792
Cubiertas	248,686	8	1,989488
Casco (fondo)	208,8698	11	2,2975678
Casco (costado)	126,0066	9	1,1340594
Ref. superestructura	58,8268	10	0,588268
Superestructura	198,9983	5	0,9949915

Con el volumen de las piezas de la estructura podemos estimar el número de chapas y bigas, con sus correspondientes medidas, que debemos obtener para, una vez almacenadas, empezar a preparar para cortar soldar o el proceso al que se deba someter.

La estimación de chapas debe ser al alza, ya que no se utiliza el 100% de las chapas por las formas irregulares de las piezas, de todos modos, muchos de los trozos sobrantes de las chapas son reutilizados.

Chapas

Las chapas se utilizarán para los anillos, mamparos, cubiertas, casco y superestructura:

Tabla 28 Medidas y cantidad de chapas de aluminio

	Formato (m ²)	Espesor (mm)	Unidades
Mamparos y anillos	6x2	15	11
Cubiertas	6x2	8	21
Casco (fondo)	6x2	11	18
Casco (costado)	6x2	9	11
Superestructura	6x2	5	17

Bigas

Las barras se utilizarán para los refuerzos del casco y de la superestructura, usaremos barras con perfil T y L.

El perfil T se utiliza en la quilla, en los refuerzos longitudinales del casco, en los refuerzos de las cubiertas y en los refuerzos de la superestructura.

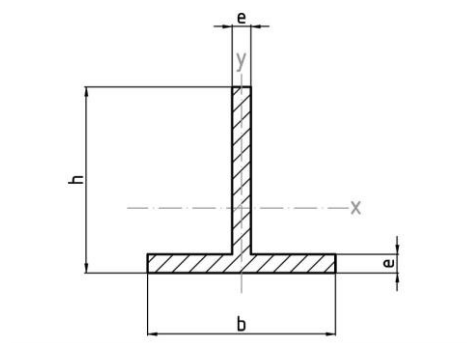
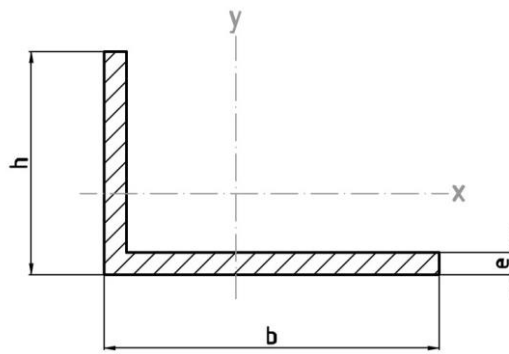


Figura 174 Biga perfil T

Tabla 29 Medidas y longitud de bigas perfil T

Perfil T	b (m)	h (m)	Espesor (mm)	Longitud (m)
Quilla	0,09	0,4	12	28
Ref. longitudinales	0,09	0,2	12	365
Ref. superestructura	0,09	0,2	10	300

El perfil L se utilizará solamente para refuerzos longitudinales del casco.

**Figura 175** Biga perfil L**Tabla 30** Medidas y longitud bigas perfil L

Perfil L	b (m)	h (m)	Espesor (mm)	Longitud (m)
Ref. longitudinales	0.005	0,08	12	460

22.3.2. Sistemas

Como se ha visto en el capítulo anterior, el objetivo de los sistemas a bordo es dotar al yate de la comodidad y operatividad necesarias para la navegación.

Productos de electrónica forman gran parte de muchos sistemas, por lo que el sistema eléctrico es un factor indispensable para el funcionamiento. Todos los equipos electrónicos son delicados, deben estar muy protegidos del agua y humedad. A continuación, se puede observar la *Tabla 31*, que contiene los equipamientos necesarios para los sistemas.

Tabla 31 Equipamiento sistemas

	Equipo	Unidades
Electrónica		
Habilitación		
	LED	117
	Luz de lectura	12
	Luz de ambiente	28
	Fan coil	8
	Enfriador	1
	Toma de corriente	18
	Extractor de humos	1
	Vitrocerámica	1
	Lavavajillas	1
	Horno microondas	1
	Nevera/congelador	1
	TV 47"	1
	TV 30"	6
	Altavoces waterproof	14
	Receptor audio y video	3
	Reproductor CDs	1
	Control remoto	1
	Altavoces	13
	Receptor satélite	2
	Subwoofer	1
Navegación		
	Estación meteorológica	1
	Sonda	1
	Limpia parabrisas	1
	Bocina	1
	Luz mástil	1

	Luz alcance	1
	Luz remolque	1
	Luz todo horizonte	1
	Luz de fondeo	1
	Anena	1
	Pantalla	2
	Ordenador	2
	Teclado	2
	PLC	6
	Switch	6
	Gate Way	6
	Piloto automático	1
	AIS	1
	Rádío	1
	Antena satélite	1
Fondeo-amarre		
	Cabestrante	1
	Molinete	1
Bombeo		
	Bomba 400V	14
	Calentador	1
	Fan coil	2
Seguridad		
	Cámara	3
	Interfono	2
	Altavoces intefono	6
Energia		
	Generador Kohler modelo 40EFOZDJ	2
	Generador Kohler modelo 9EKOZD	1
	Bateria Trojan 8D-AGM	14
	Cableado	80 m
Plomería		
CI cubiertas (15mm diametro interior, Acero inoxidable)		
	Rociador	21
	Codo	29

	T	3
	Cruceta	8
	Tubería	65,6382 m
Cl sala de máquinas (15mm diametro interior, Acero inoxidable)		
	Rociador	15
	Codo	17
	T	2
	Cruceta	6
	Tubería	40,2706 m
Agua fría (15 mm diametro interior, Acero inoxidable)		
	Codo	39
	T	3
	Tubería	38,055 m
Agua fría (40 mm diametro interior, Acero inoxidable)		
	Codo	6
	T	18
	Tubería	40,588 m
Agua caliente (15 mm diámetro interior, Acero inoxidable)		
	Codo	27
	T	1
	Tubería	43,7874 m
Agua caliente (40 mm diametro interior, Acero inoxidable)		
	Codo	2
	T	7
	Tubería	15,9604 m
Sanitario (32 mm diámetro interior, PVC)		
	Codo	13
	Tubería	15,5395 m
Sanitario (50 mm diámetro interior, PVC)		
	Codo	6
	Tubería	14,3907 m
Sanitario (80 mm diámetro interior, PVC)		
	Codo	8
	T	12
	Tubería	25,6328 m
Equipamiento		
	Inodoros	6
	Lavavos	6
	Duchas	6
	Fregadero	1

22.4. Procesos

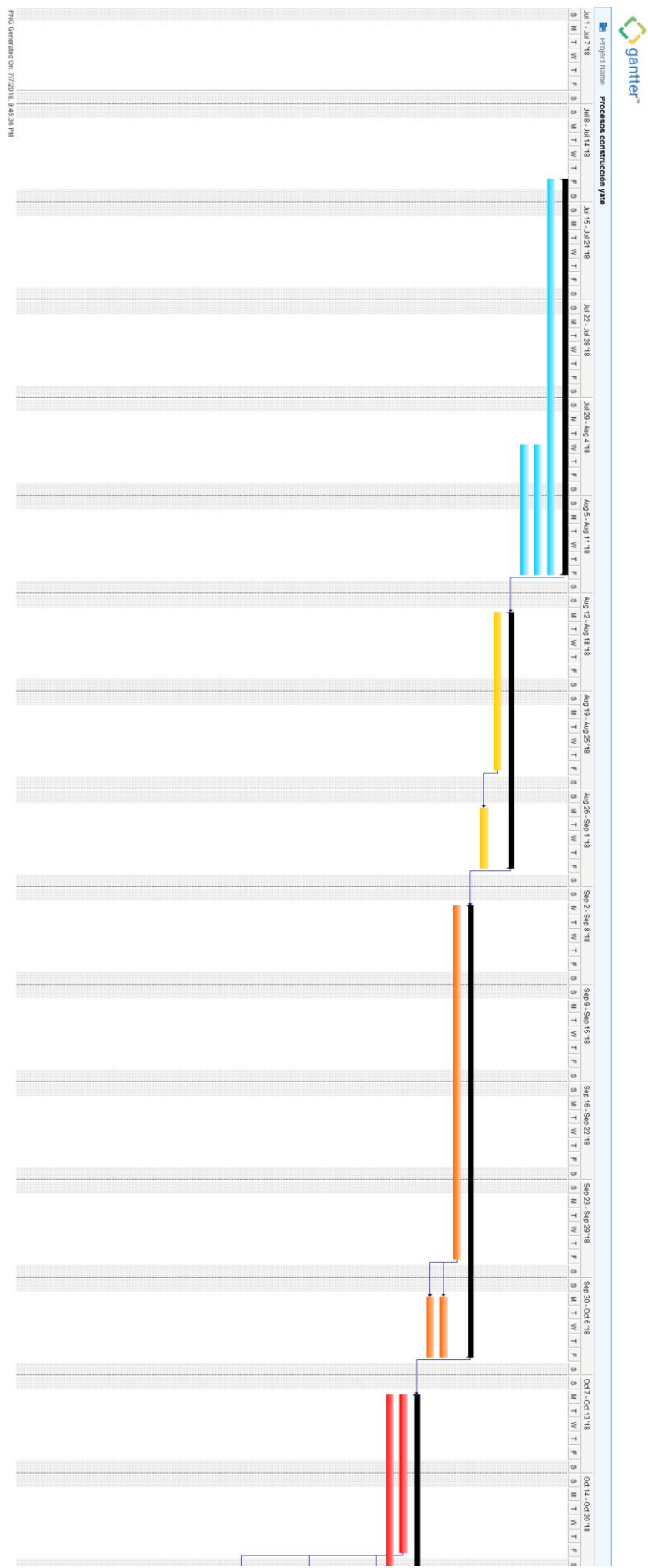
En este apartado se puede ver ordenado cronológicamente cada uno de los procesos para la completa construcción del yate. Con una estima de todos los materiales y productos, se empieza a moldear y montar estos por bloques, por lo tanto, se montan por separado diferentes bloques que se unen posteriormente para completar el yate.

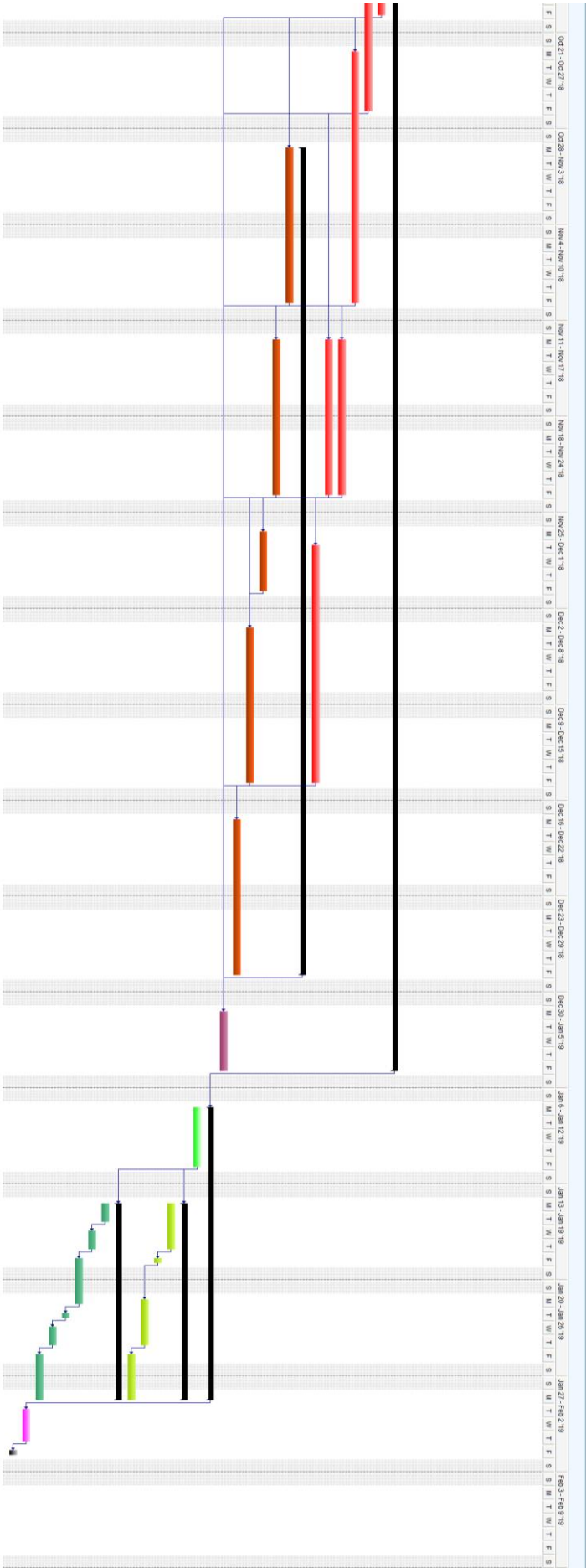
Con los materiales e inventario almacenado y listo para ser trabajado los procesos de construcción pueden comenzar.

La herramienta de proyectos Ganttter nos permite ordenar de manera organizada cada uno de los procesos de construcción, a continuación, vemos el listado de tareas y el diagrama de los procesos del proyecto:



Figura 176 Diagrama Gantt





22.4.1. Corte y curvatura

El corte de todas las piezas de aluminio es el primer paso, es importante limpiar bien las superficies y asegurarse de no cometer fallos, ya que un error en esta etapa podría repercutir negativamente en un proceso posterior como suciedad o corrosión que impediría su soldadura.

El corte se efectuará por agua a presión. (2.1.2. Corte, corte por chorro de agua), sus buenos resultados de acabado permiten una soldadura más fuerte ya que el corte por chorro de agua no utiliza cambios de temperatura.

Para el corte de las piezas, lo óptimo sería pasar los datos de diseño del software a máquinas de corte para aumentar al máximo la precisión del resultado. En este caso, al ser un proyecto de investigación, se ha dibujado un esbozo de todas las piezas de la estructura completa del yate para poder ser estudiadas. Los datos de los planos son solamente medidas, para el corte o marcado se deben ordenar en las planchas a escala real y de la manera más eficiente posible en cuanto a utilización del área de las planchas.

Las curvaturas de las planchas de aluminio con máquinas dobladoras de metal, los Astilleros MEC cuentan con esta tecnología. Los planos de casco y superestructura contienen la curvatura que se debe efectuar en las planchas.

En los planos veremos todas las piezas del casco y de la superestructura, y de las estructuras de estas, como la embarcación es simétrica desde la quilla, se puede dibujar solamente las piezas de media embarcación y remarcar el número de piezas de ese tipo que se deberán hacer. Hay muchas piezas que son iguales o muy parecidas, ya que están cortadas por bloques, por lo tanto, las piezas horizontales del mismo bloque tendrán la misma longitud. Esto permite una unión de bloques firme, con buena estanqueidad y muy fuerte y resistente.

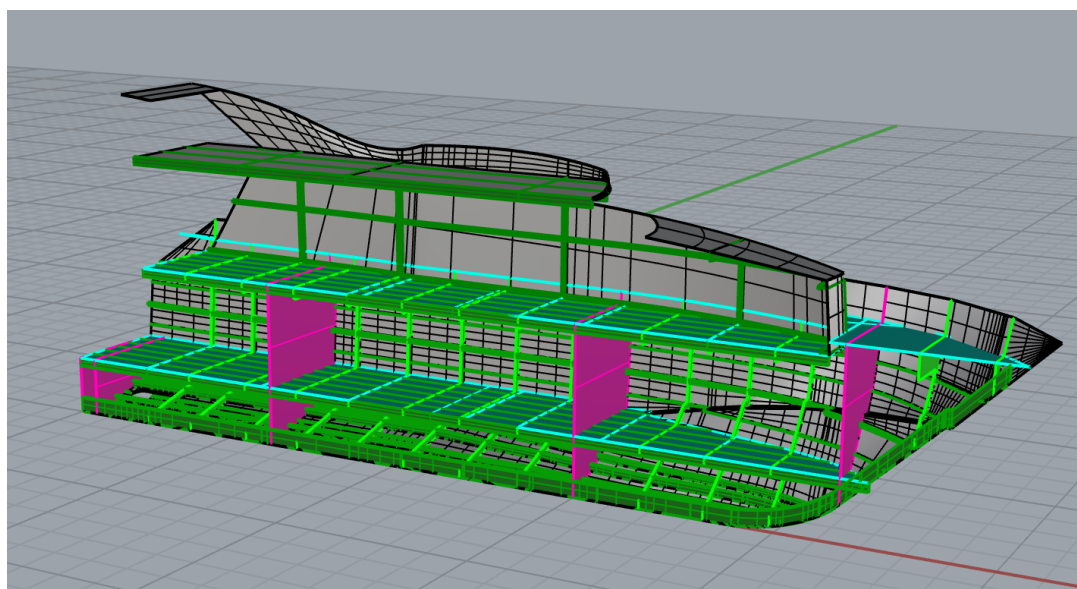
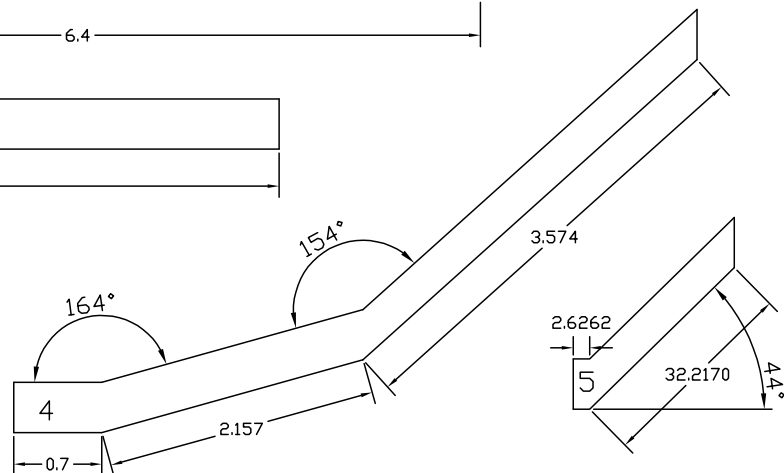
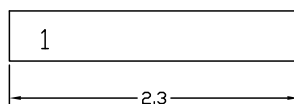
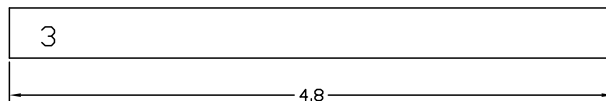
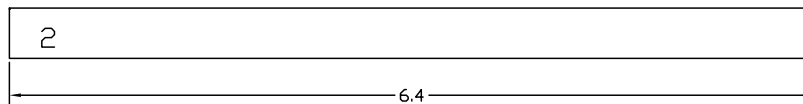
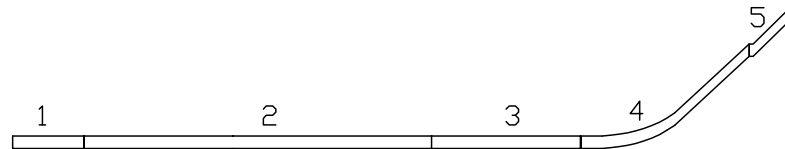
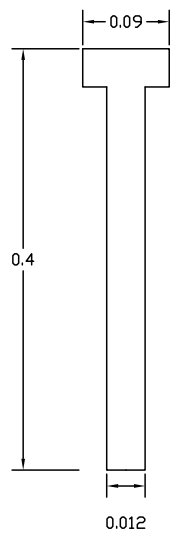


Figura 177 Conjunto de piezas del yate

PERFIL T



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

QUILLA

Universidad
Tecnológica
de Panamá

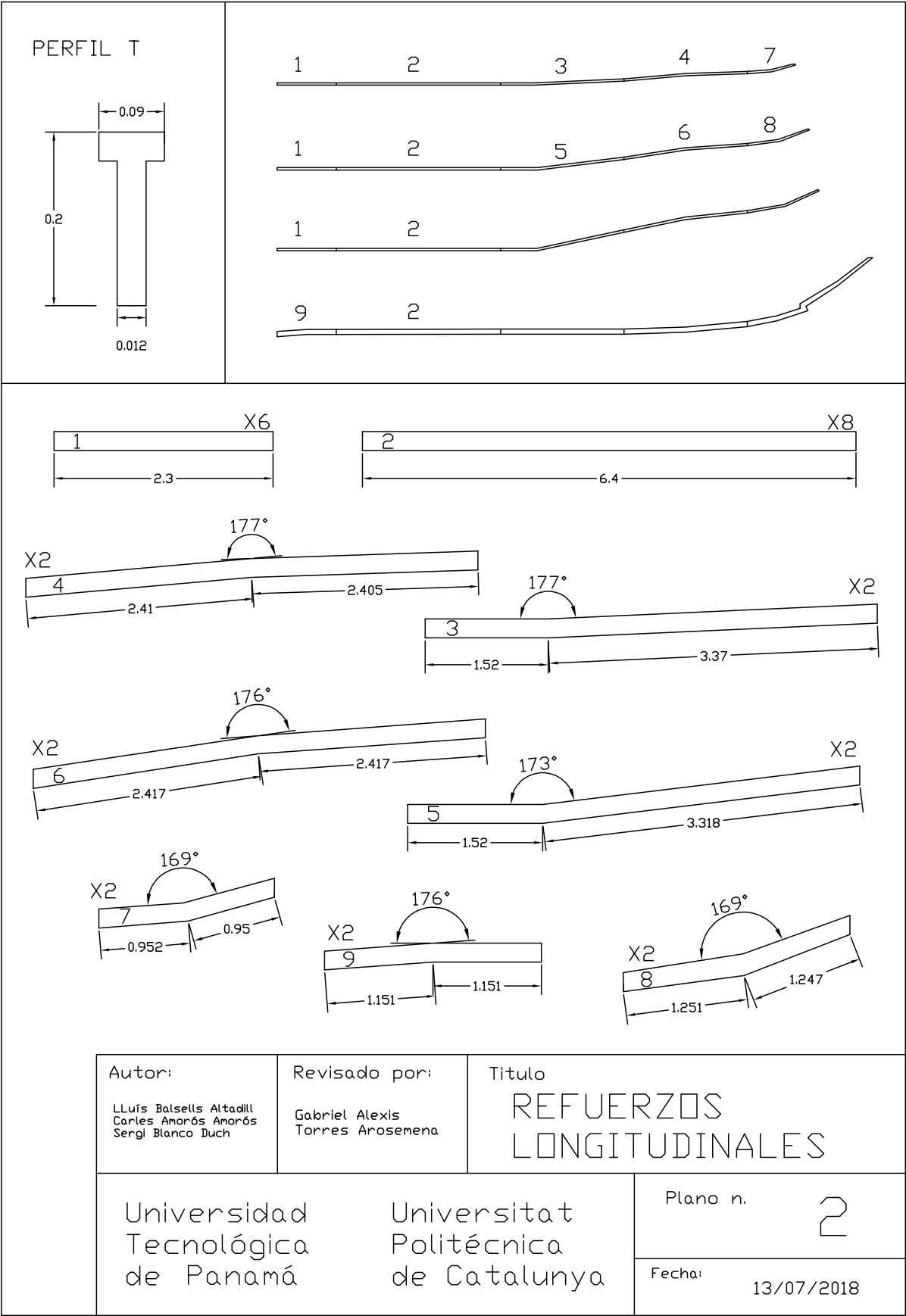
Universitat
Politécnica
de Catalunya

Plano n.

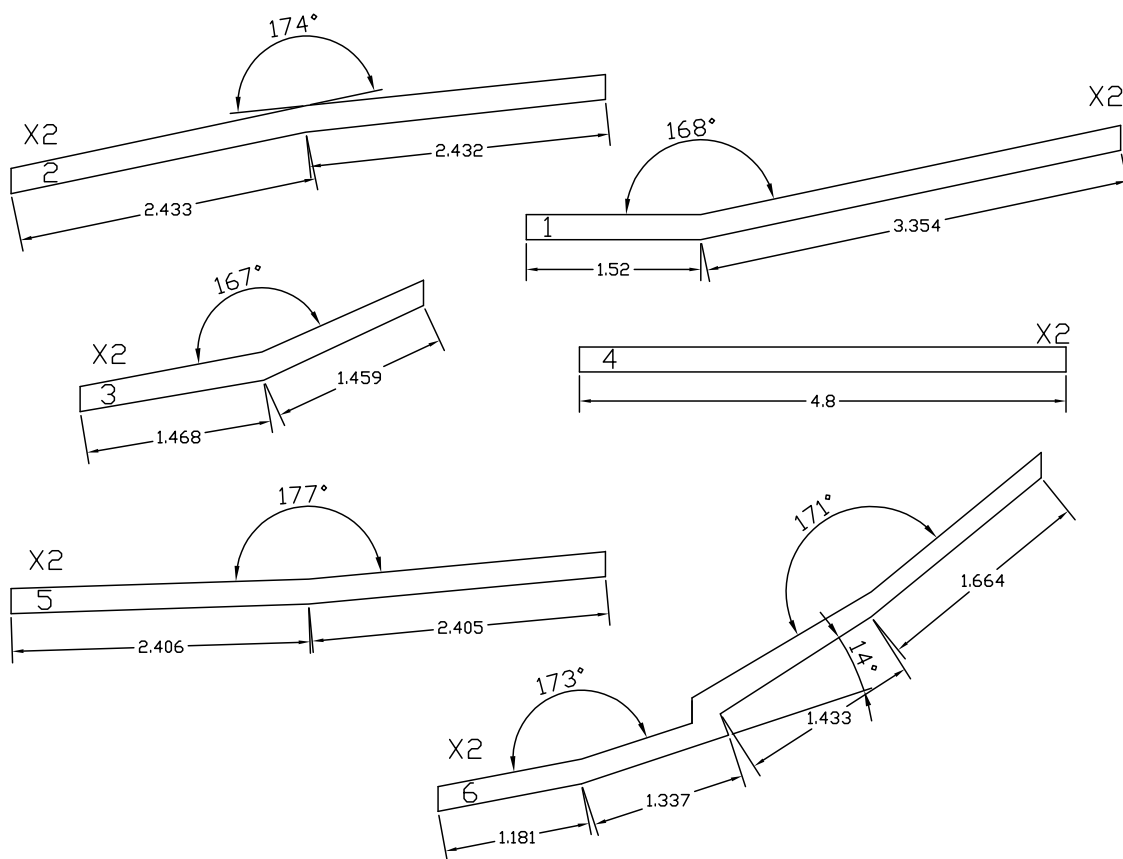
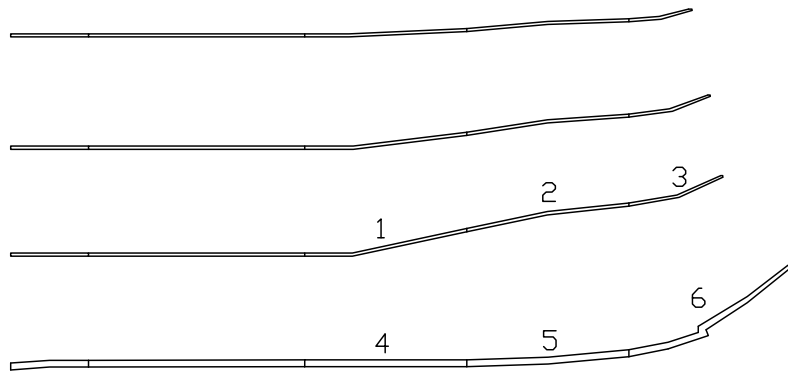
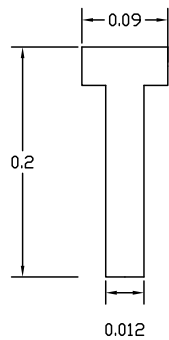
1

Fecha:

13/07/2018



PERFIL T



Autor:

 LLuís Bolsells Altadill
 Carles Amorós Amorós
 Sergi Blanco Duch

Revisado por:

 Gabriel Alexis
 Torres Arosemena

Título

 REFUERZOS
 LONGITUDINALES

 Universidad
 Tecnológica
 de Panamá

 Universitat
 Politècnica
 de Catalunya

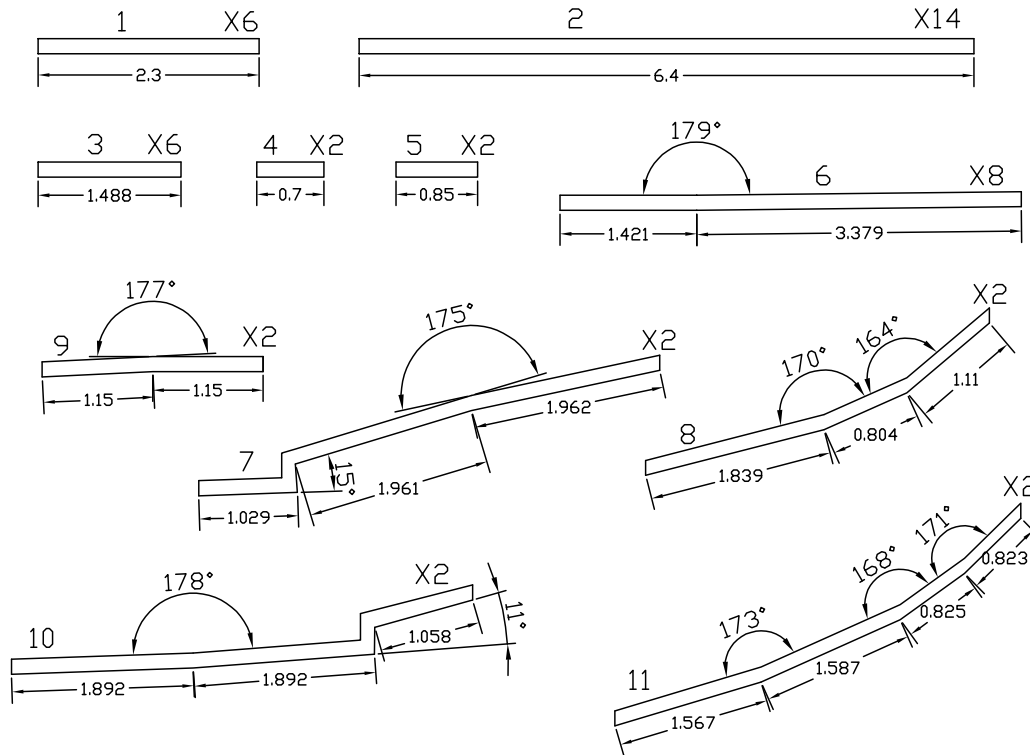
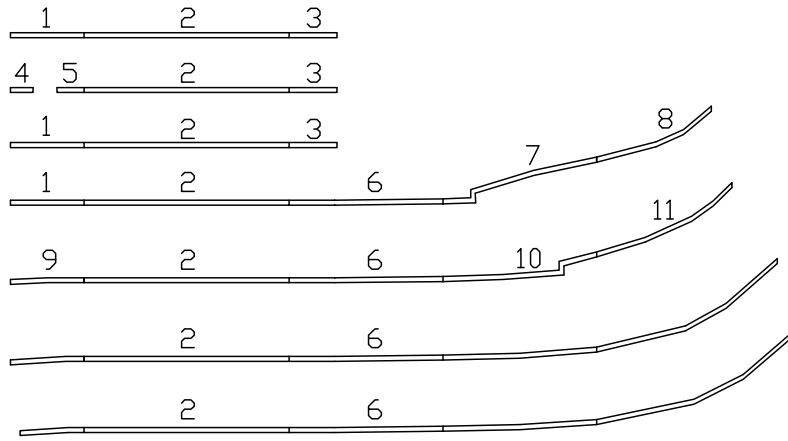
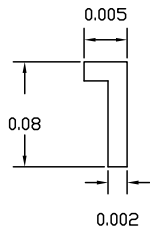
Plano n.

3

Fecha:

13/07/2018

PERFIL L



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título:

REFUERZOS
LONGITUDINALES

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

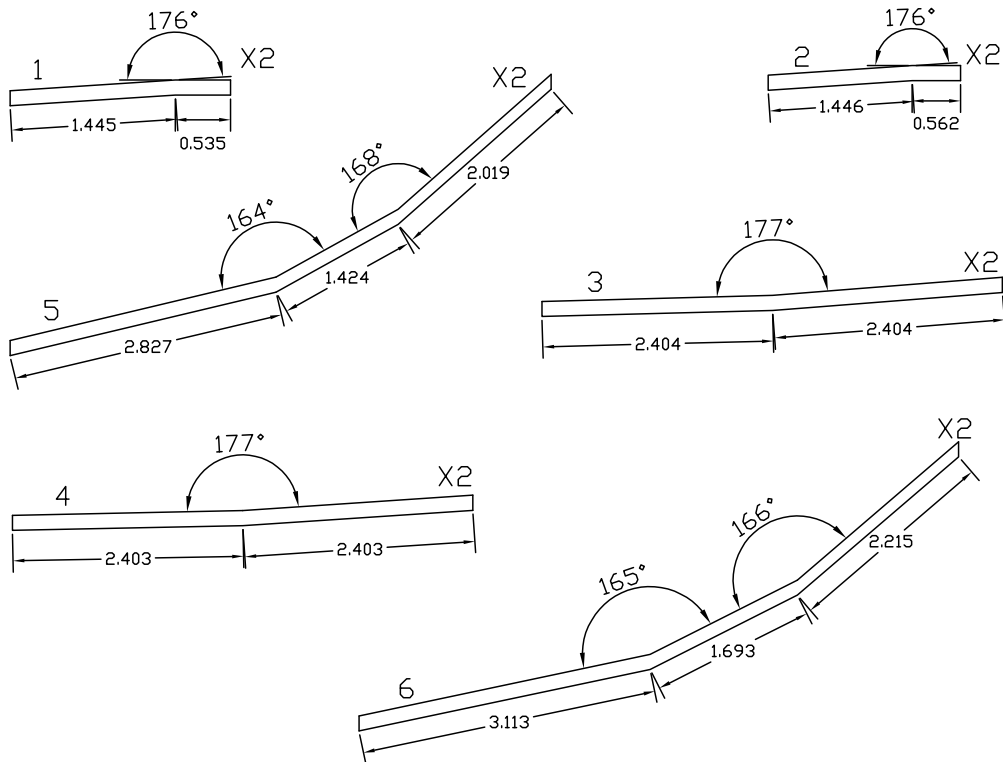
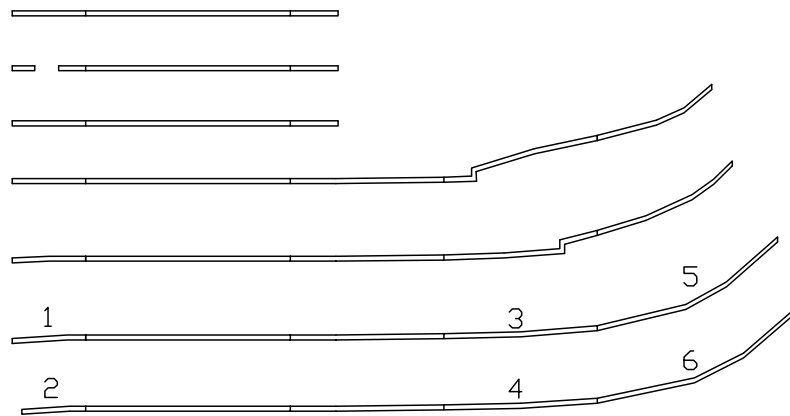
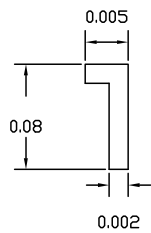
Plano n.

4

Fecha:

13/07/2018

PERFIL L



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Titulo:

REFUERZOS
LONGITUDINALES

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

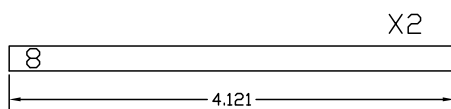
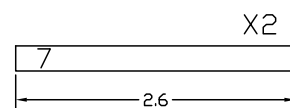
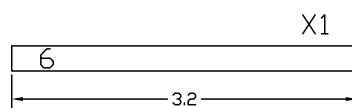
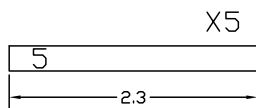
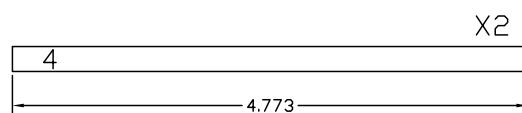
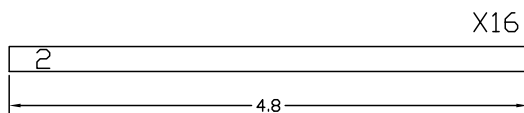
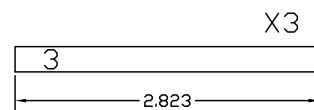
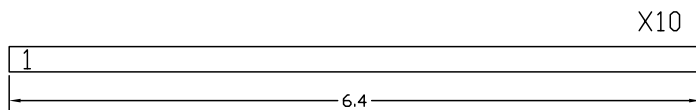
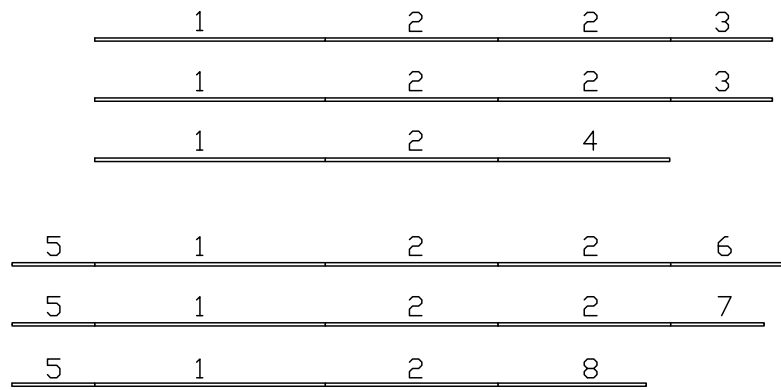
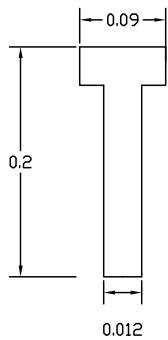
Plano n.

5

Fecha:

13/07/2018

PERFIL T



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título:

REFUERZOS
LONGITUDINALES

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

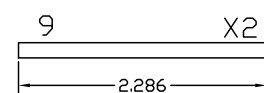
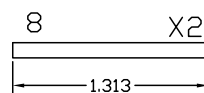
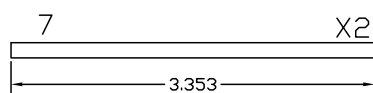
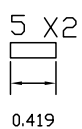
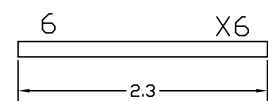
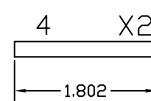
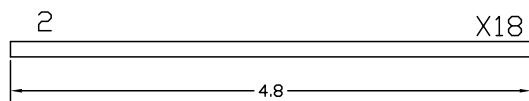
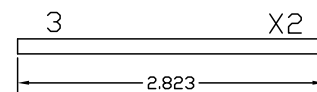
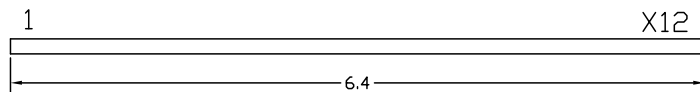
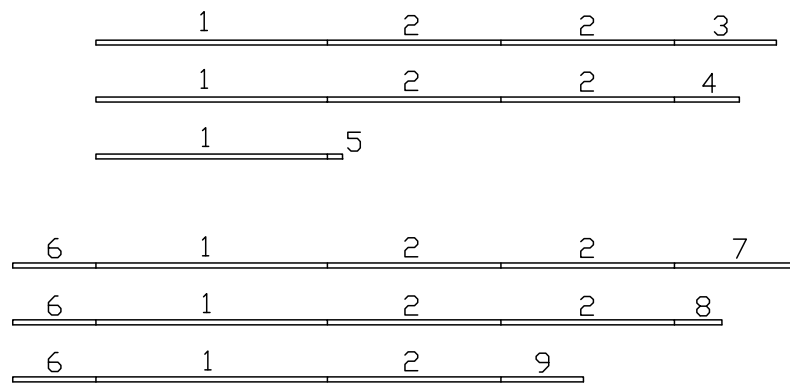
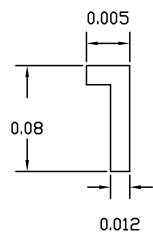
Plano n.

6

Fecha:

13/07/2018

PERFIL L



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título:

REFUERZOS
LONGITUDINALES

Universidad
Tecnológica
de Panamá

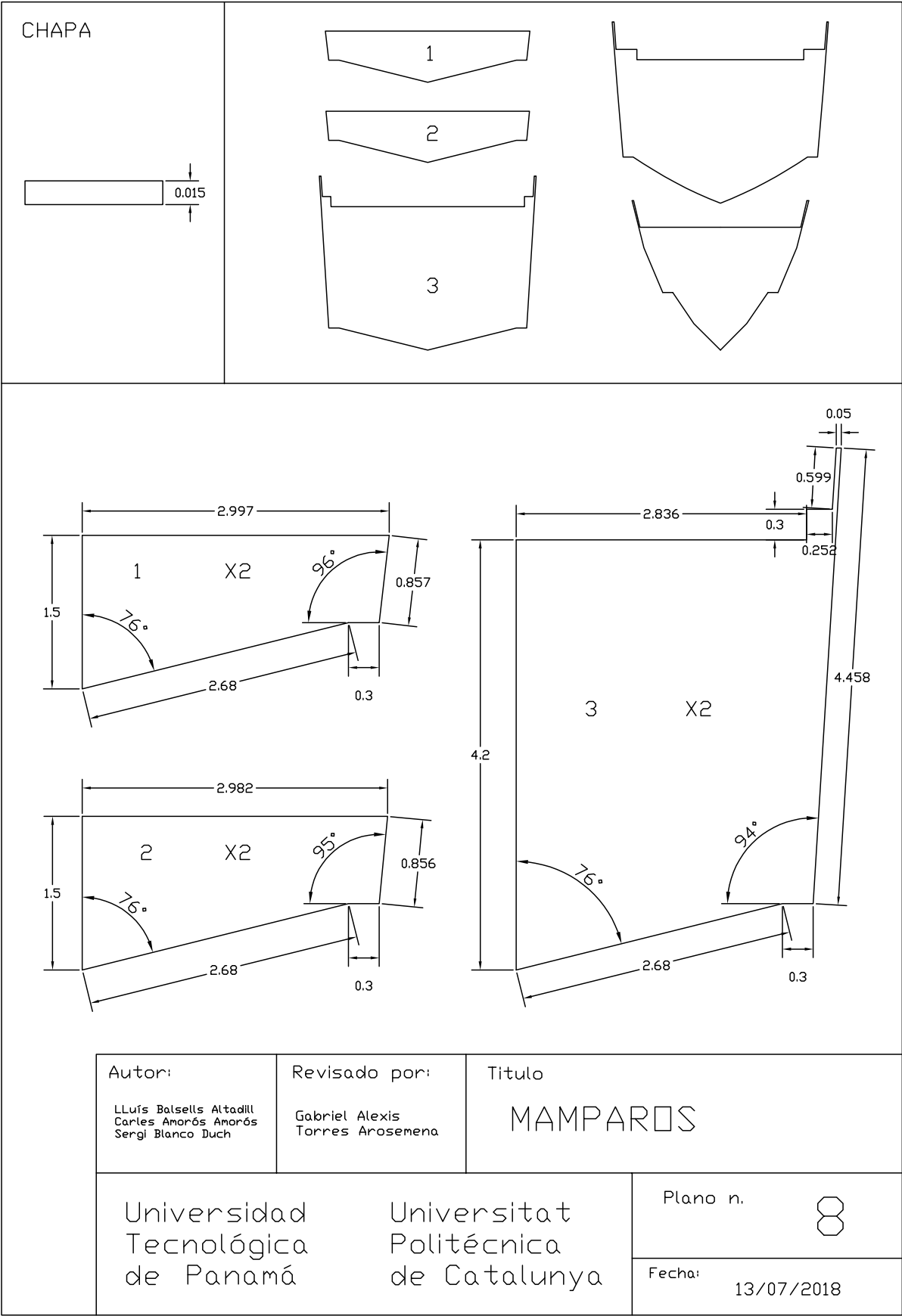
Universitat
Politécnica
de Catalunya

Plano n.

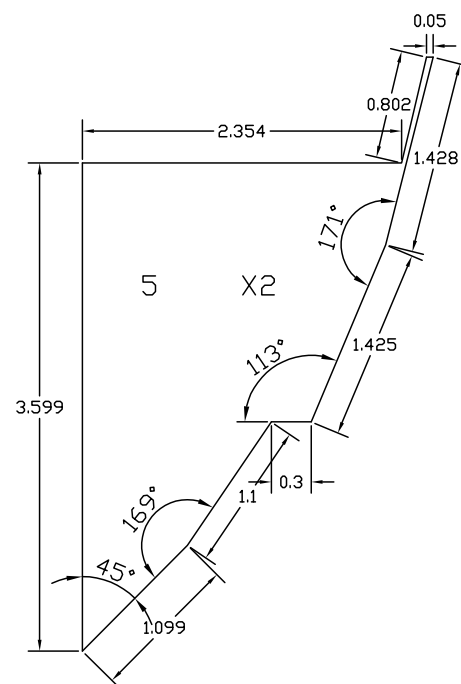
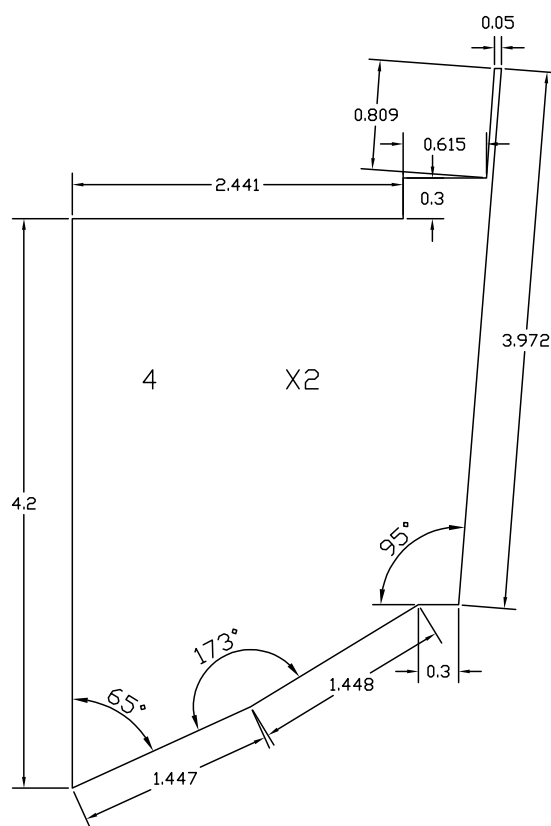
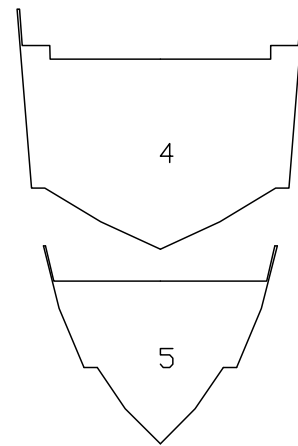
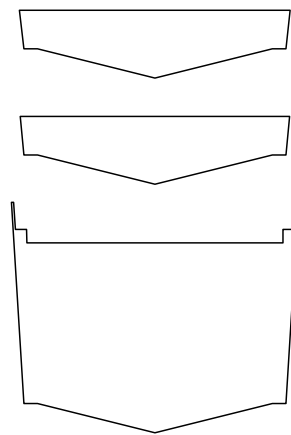
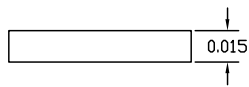
7

Fecha:

13/07/2018



CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Titulo

MAMPAROS

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

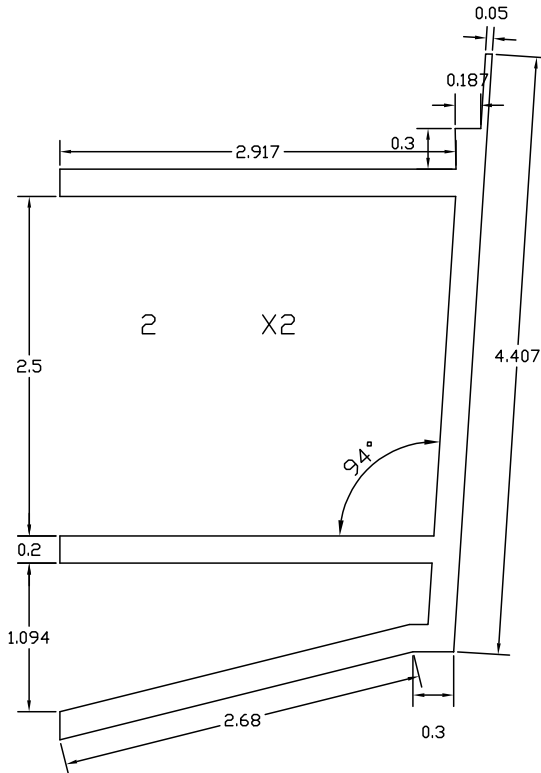
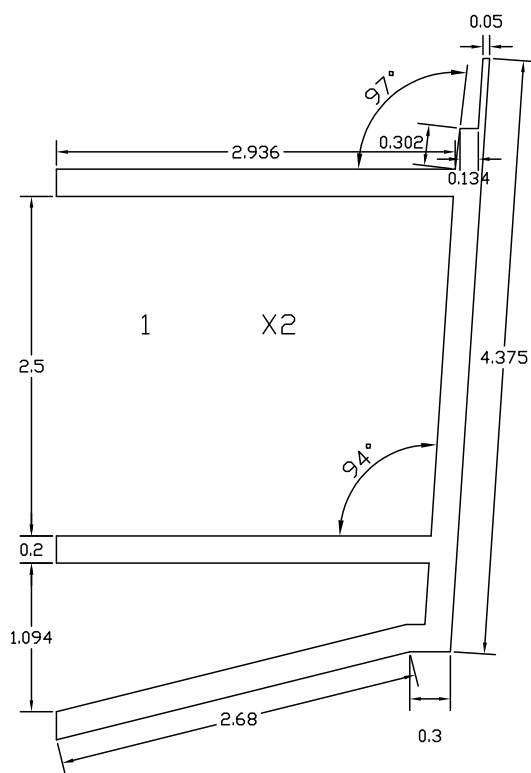
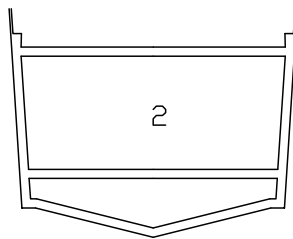
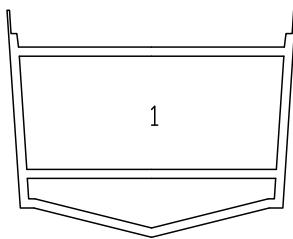
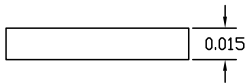
Plano n.

9

Fecha:

13/07/2018

CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

ANILLOS

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

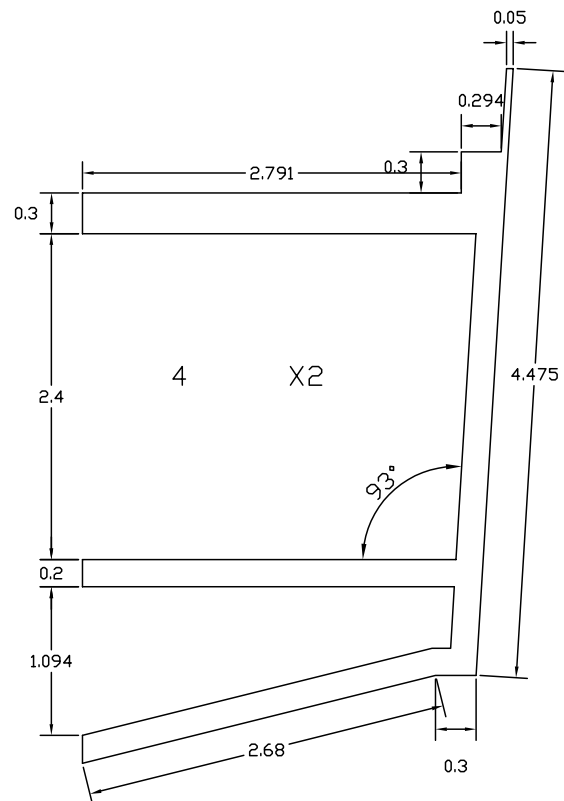
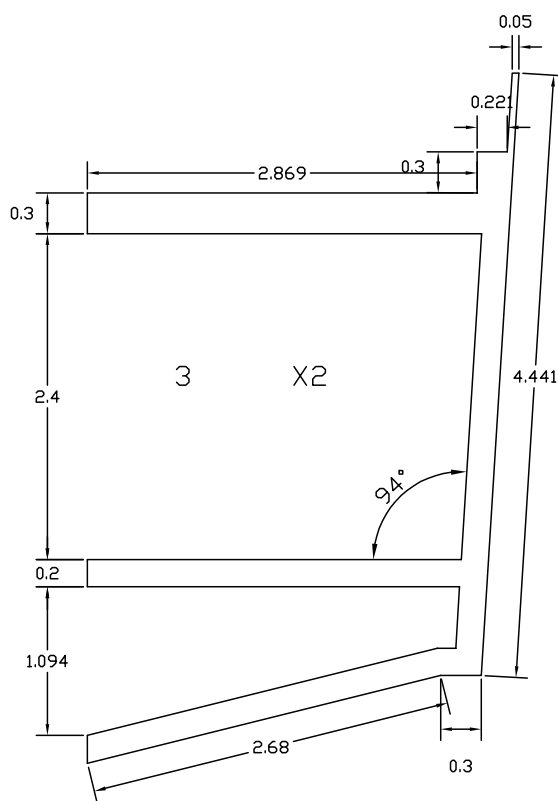
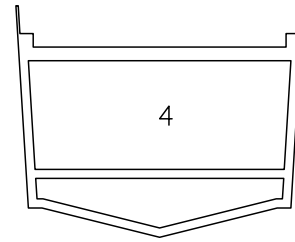
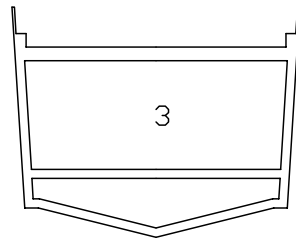
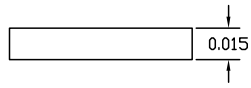
Plano n.

10

Fecha:

13/07/2018

CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Titulo

ANILLOS

Universidad
Tecnológica
de Panamá

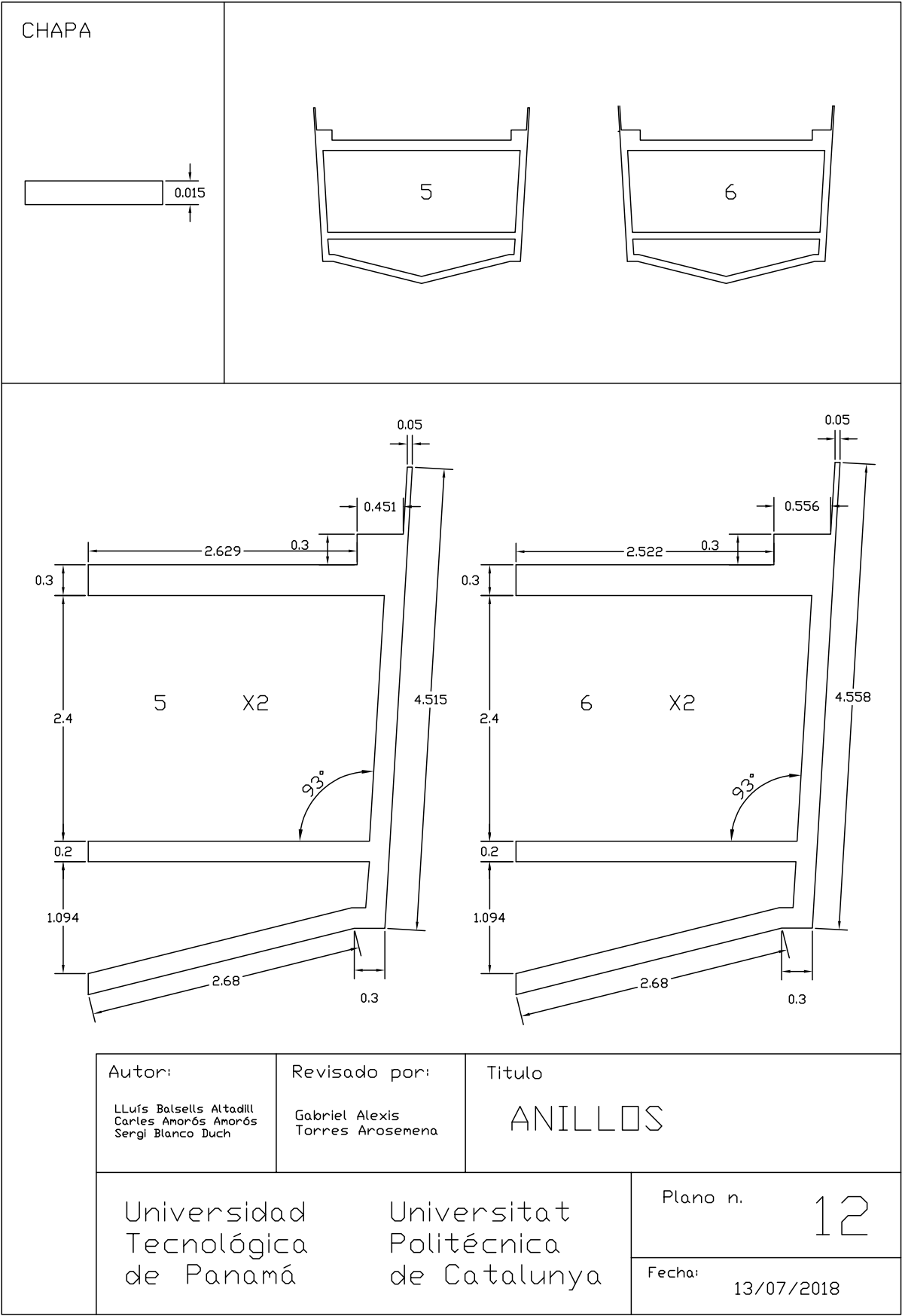
Universitat
Politécnica
de Catalunya

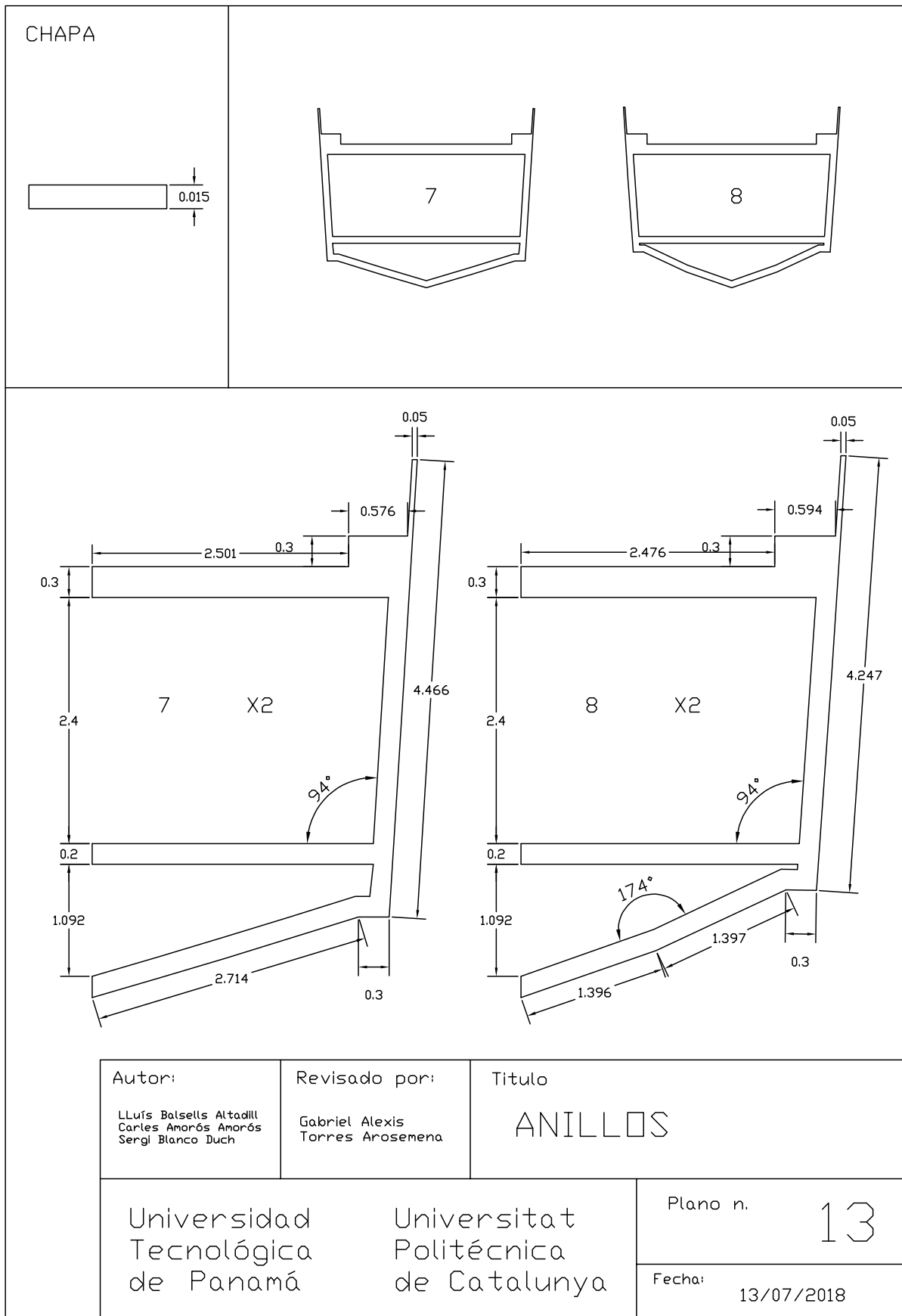
Plano n.

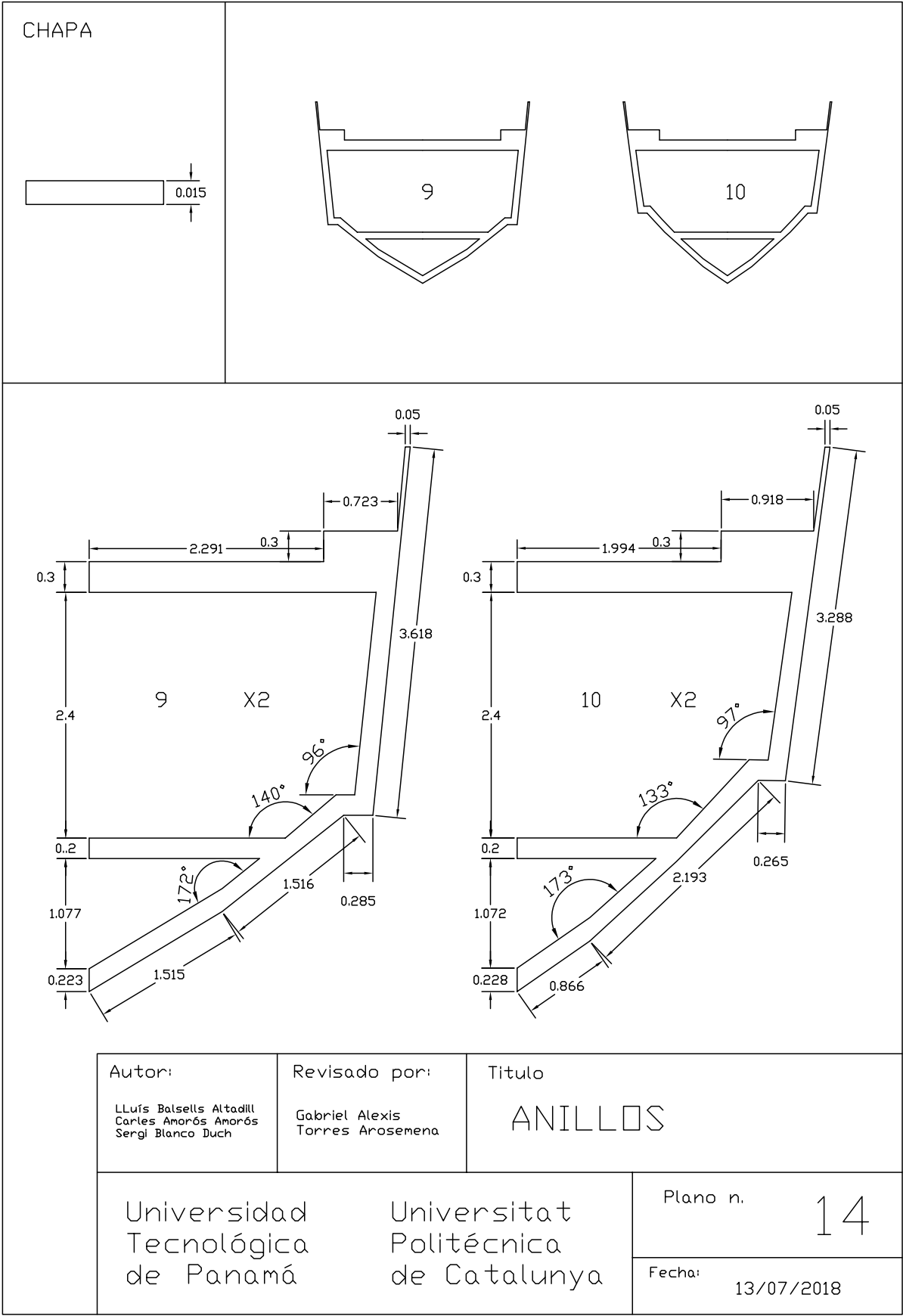
11

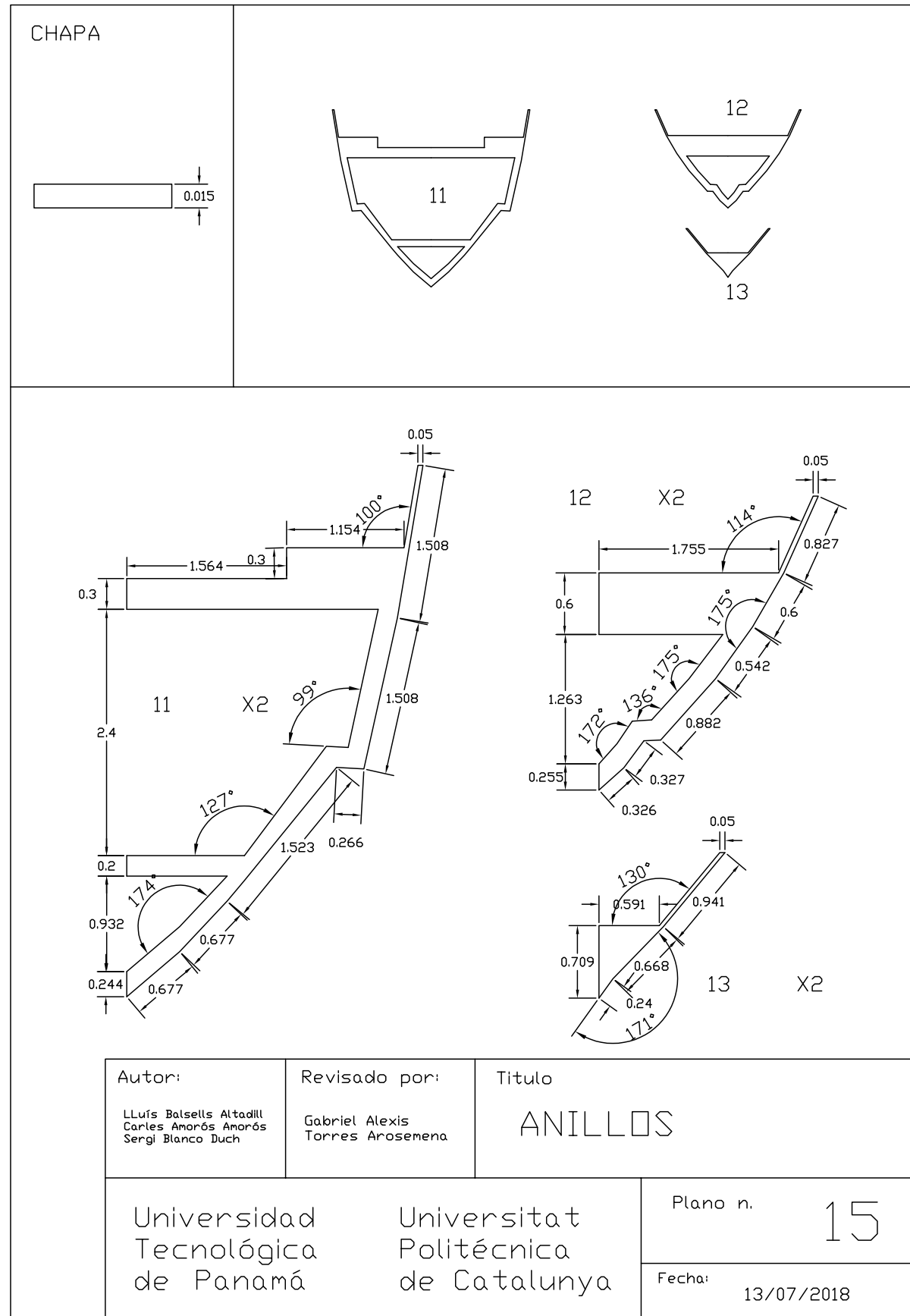
Fecha:

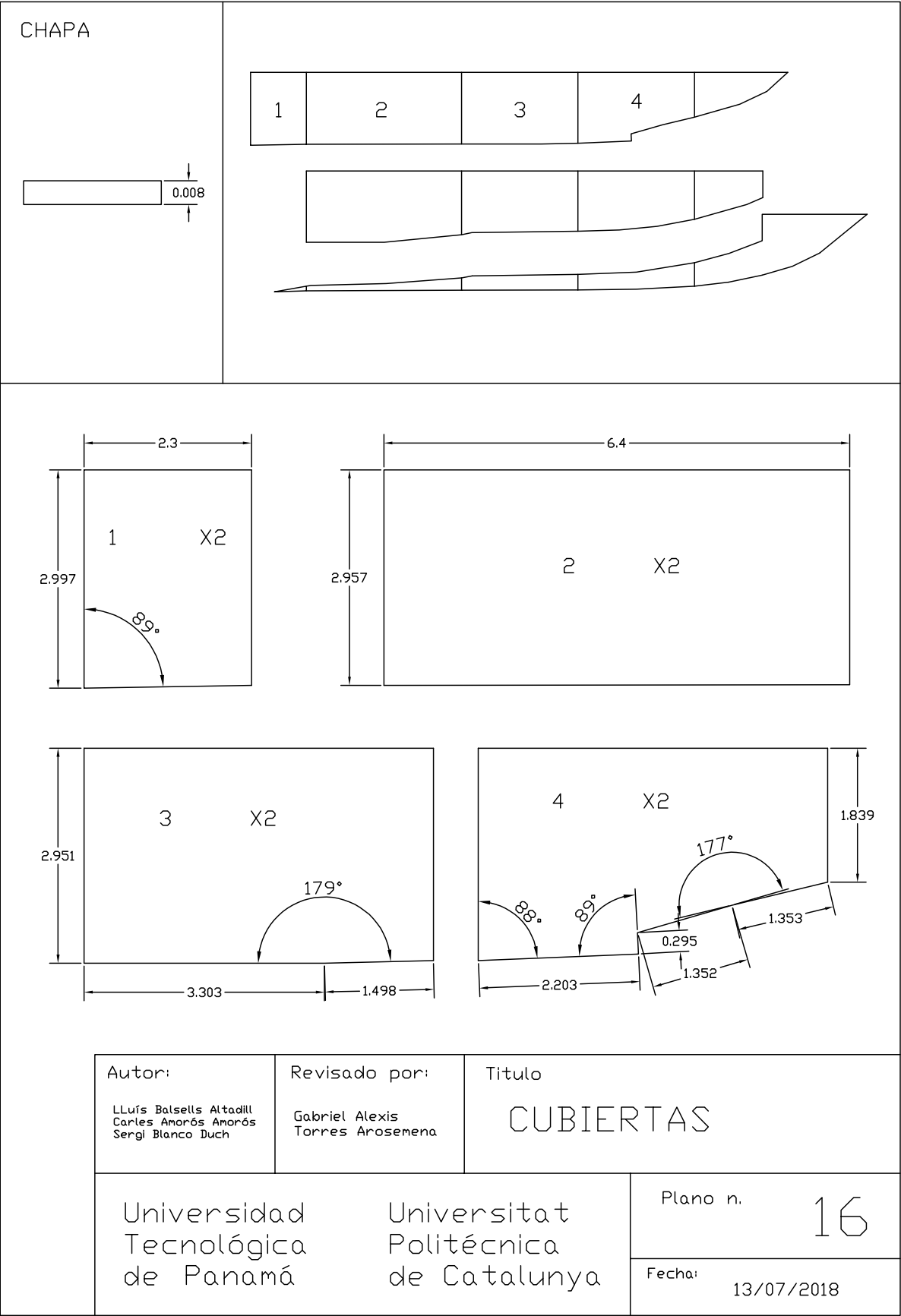
13/07/2018



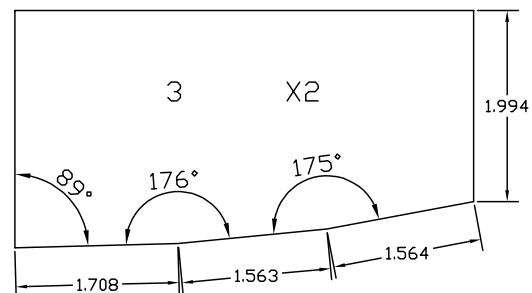
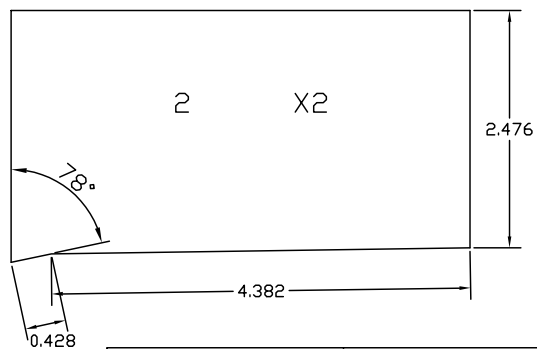
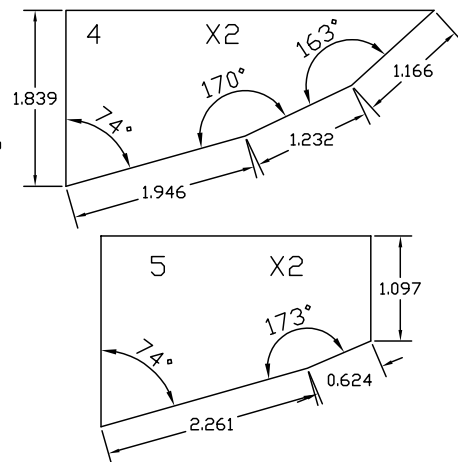
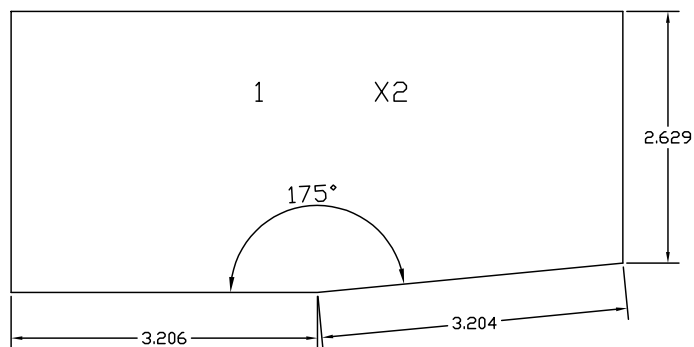
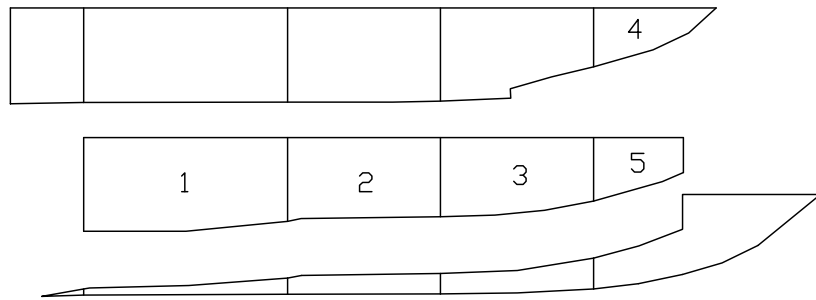
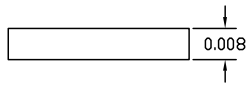








CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

CUBIERTAS

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

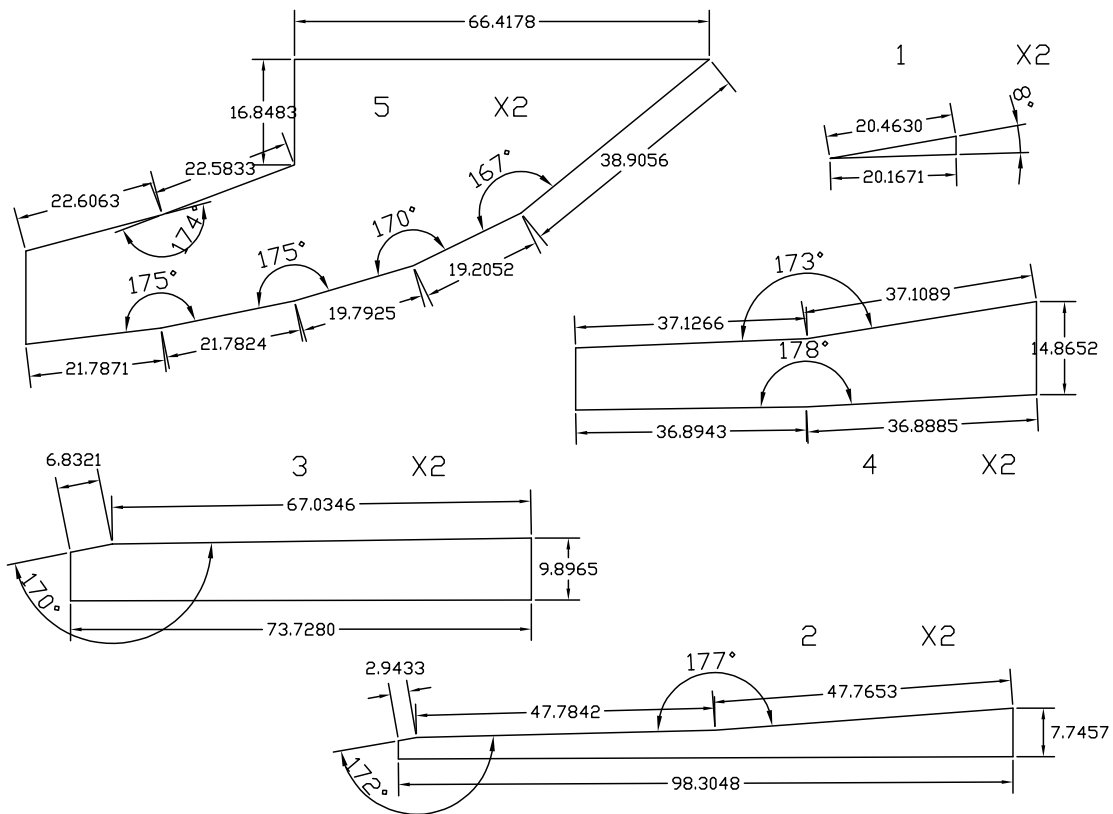
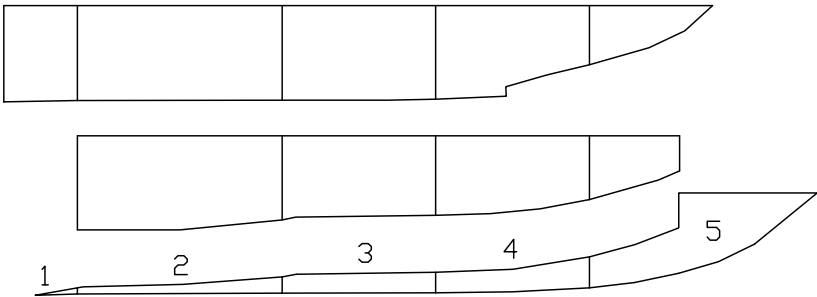
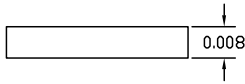
Plano n.

17

Fecha:

13/07/2018

CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

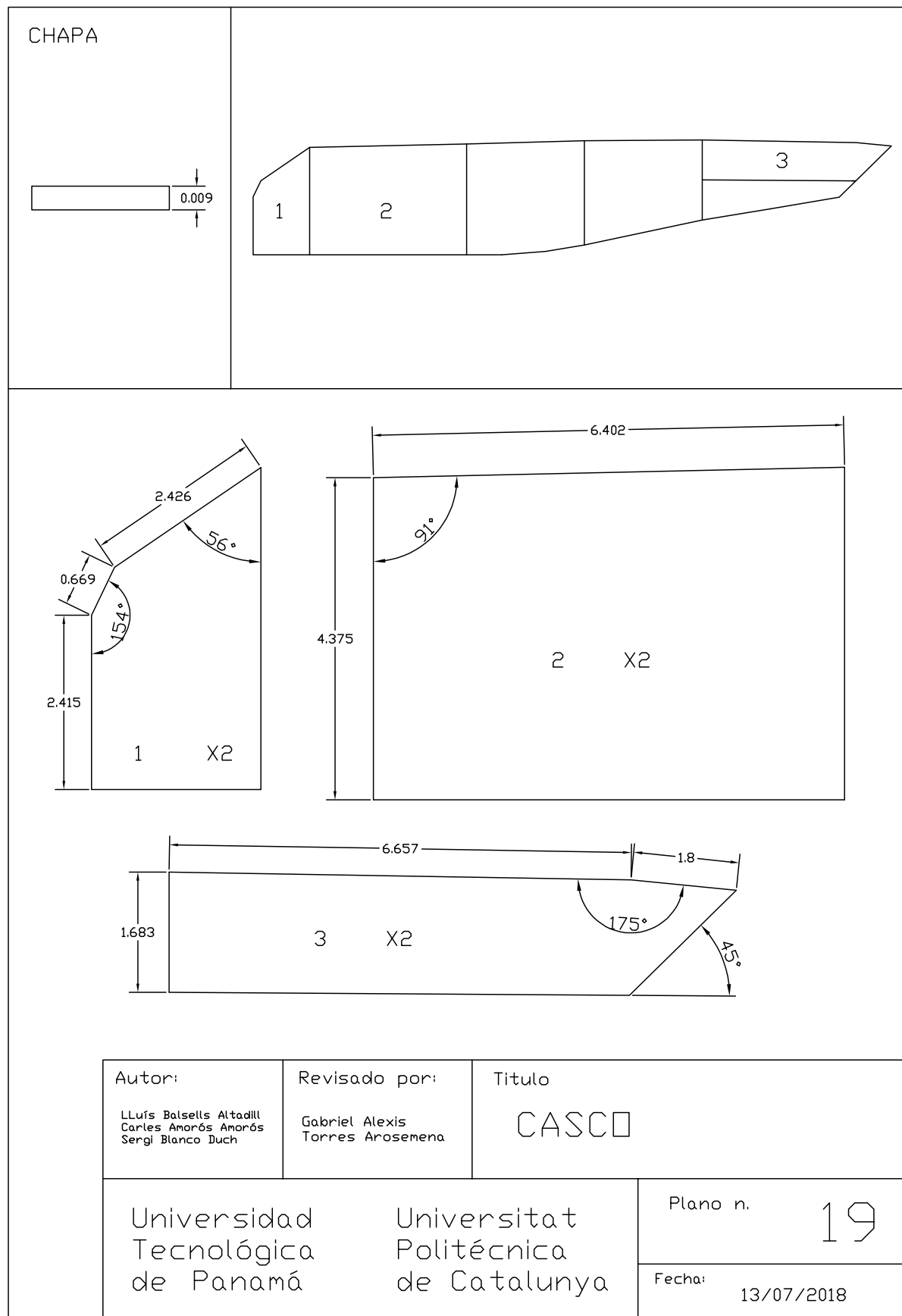
CUBIERTAS

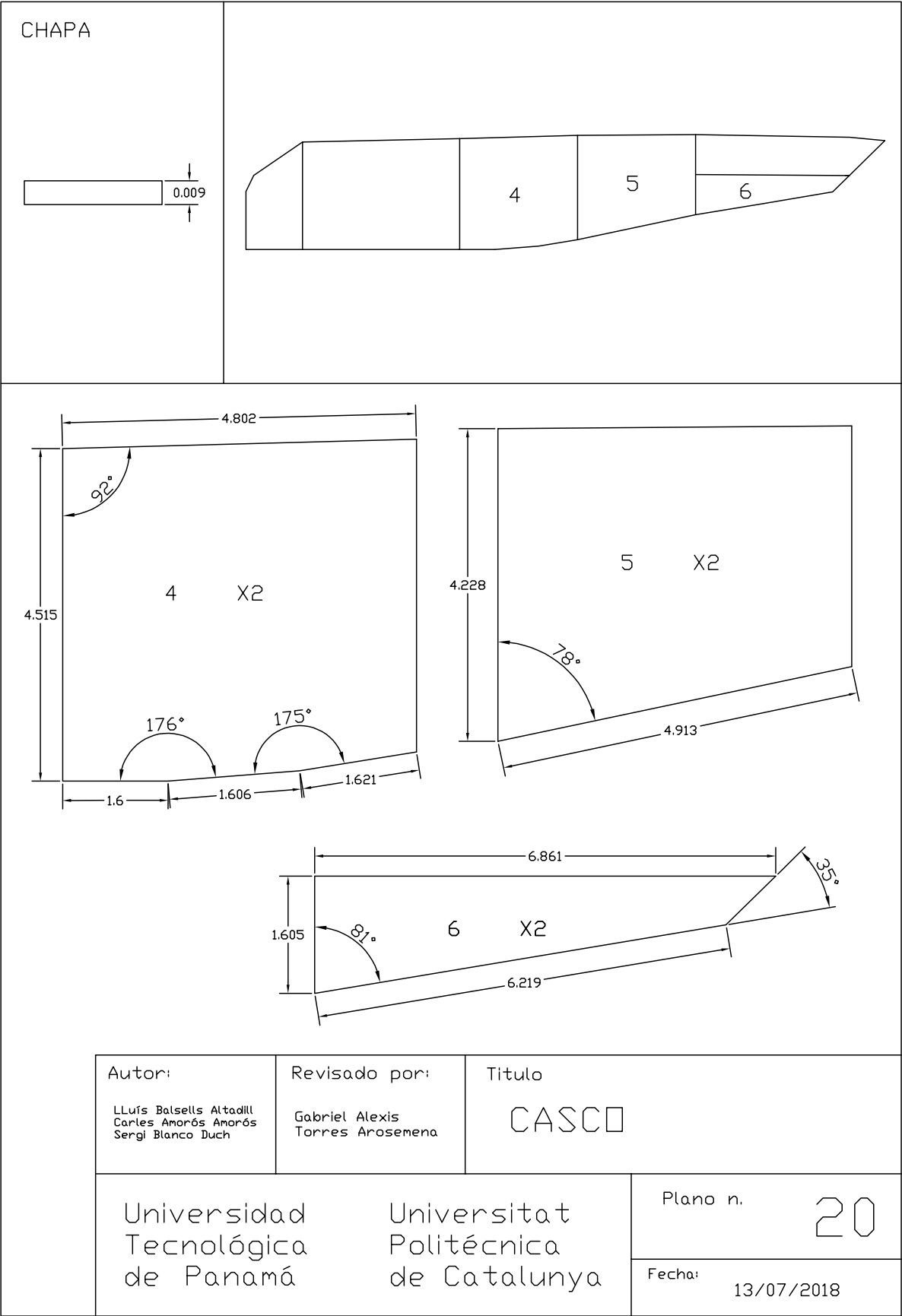
Universidad
Tecnológica
de Panamá

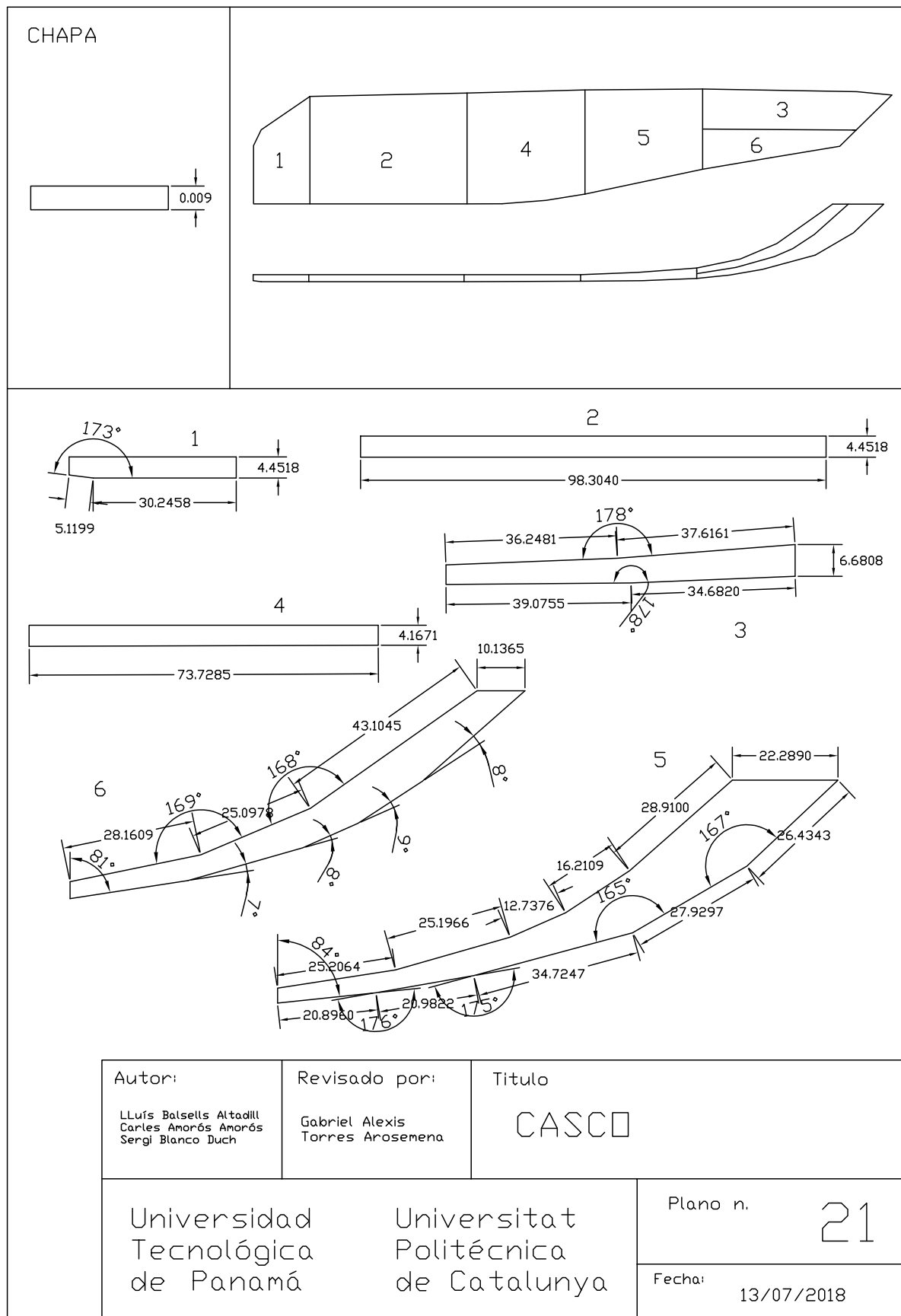
Universitat
Politécnica
de Catalunya

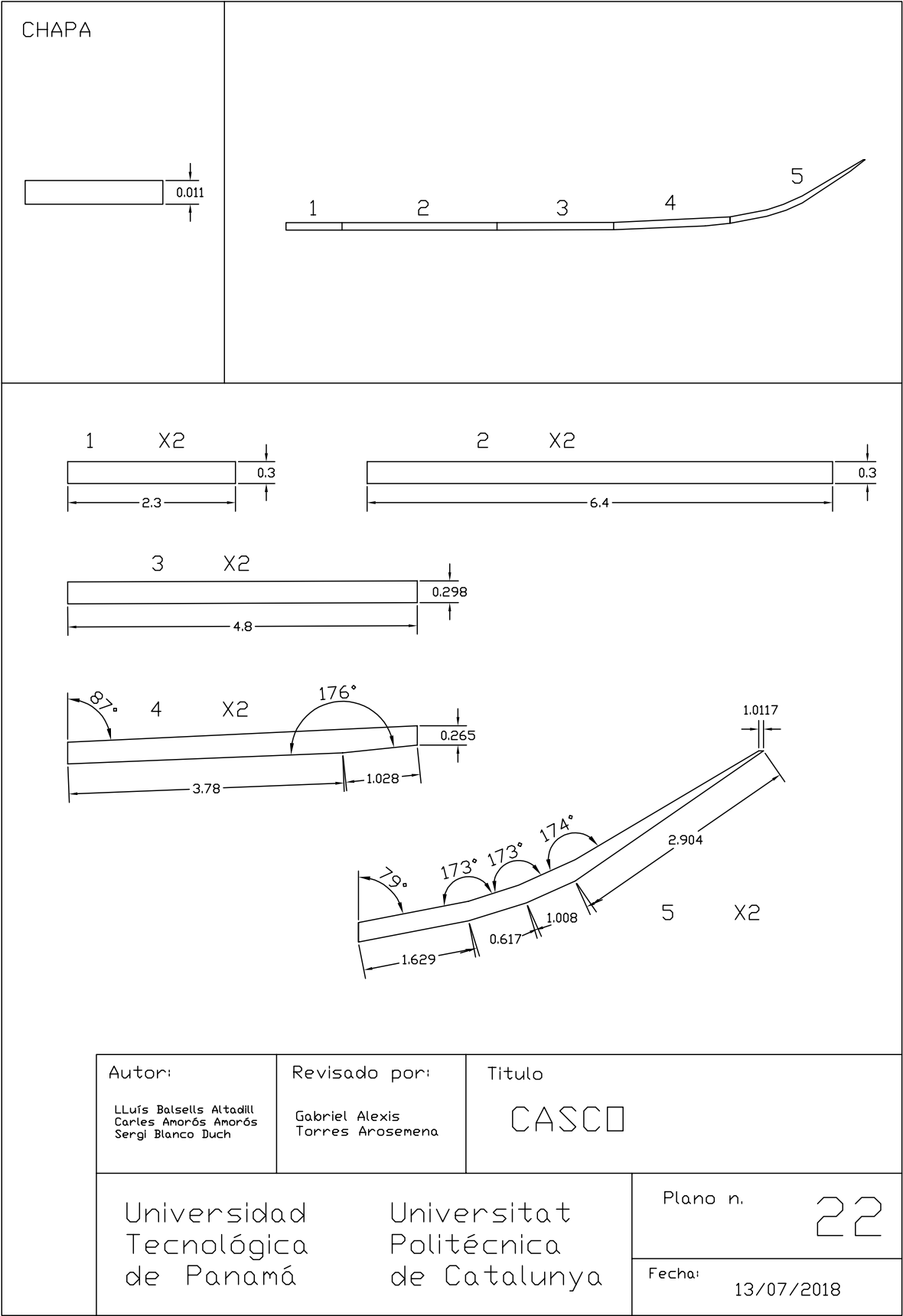
Plano n. 18

Fecha: 13/07/2018

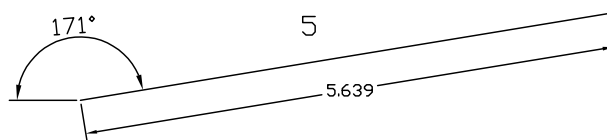
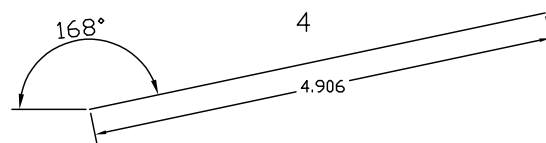
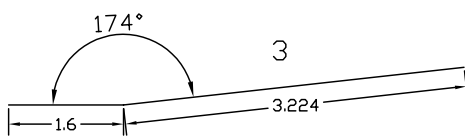
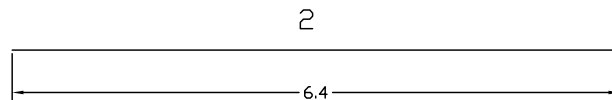
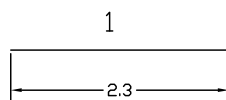
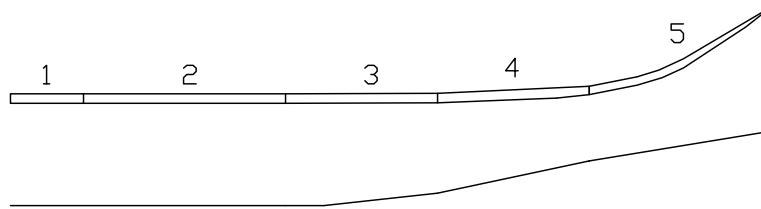
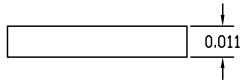








CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

CASCO

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

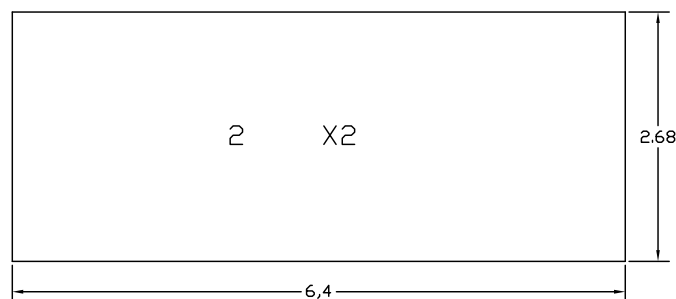
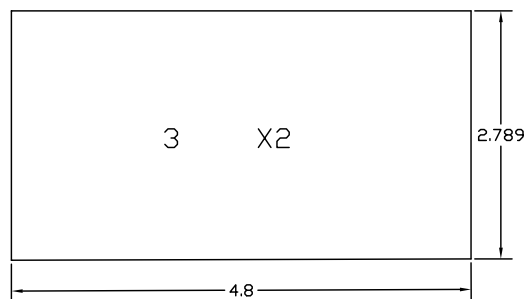
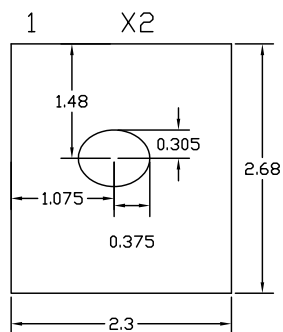
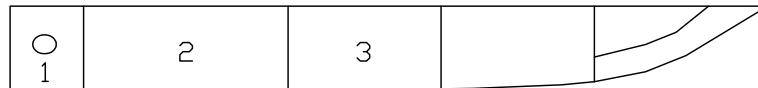
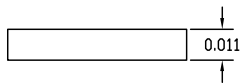
Plano n.

23

Fecha:

13/07/2018

CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

CASCO

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

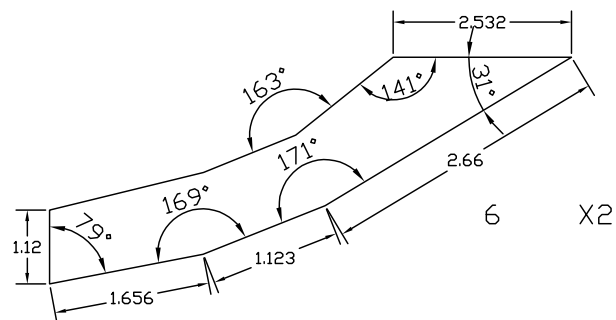
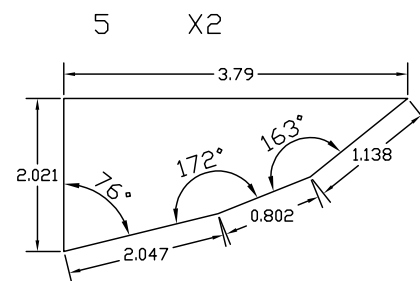
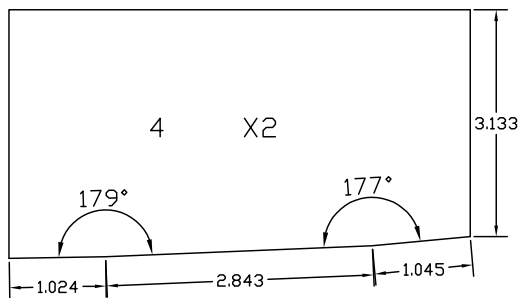
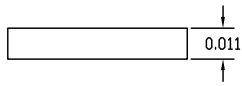
Plano n.

24

Fecha:

13/07/2018

CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Titulo

CASCO

Universidad
Tecnológica
de Panamá

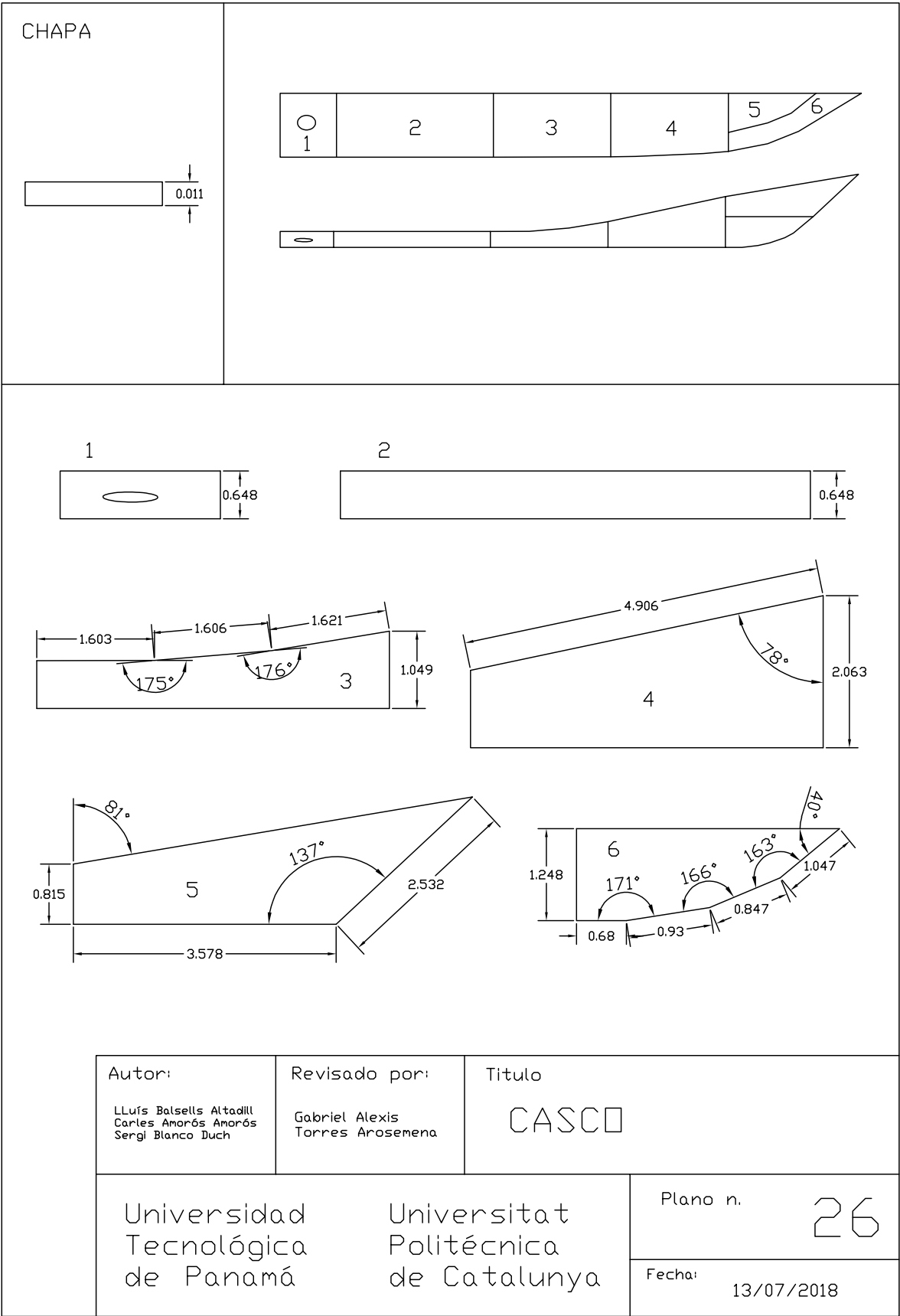
Universitat
Politécnica
de Catalunya

Plano n.

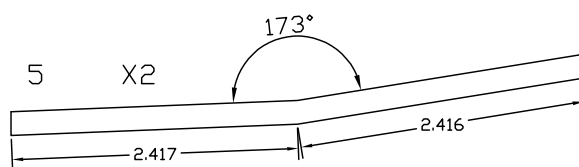
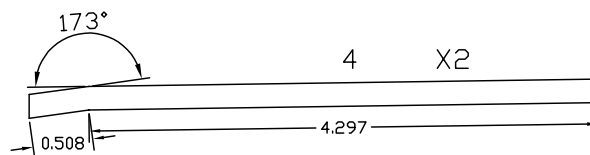
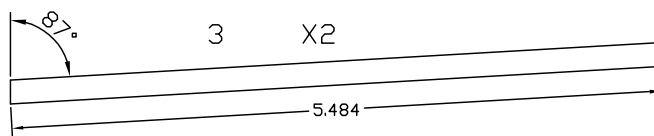
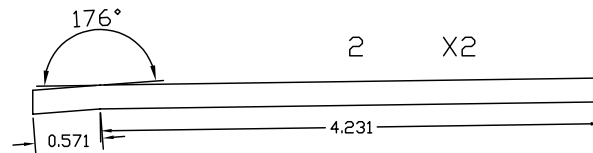
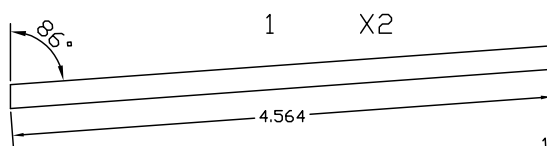
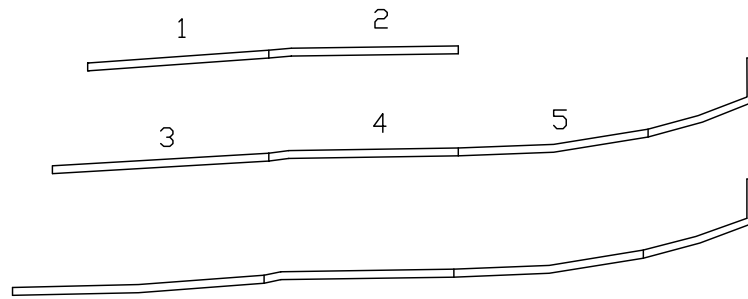
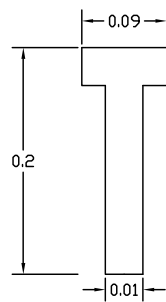
25

Fecha:

13/07/2018



PERFIL T



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Titulo

REFUERZOS
SUPERESTRUCTURA

Universidad
Tecnológica
de Panamá

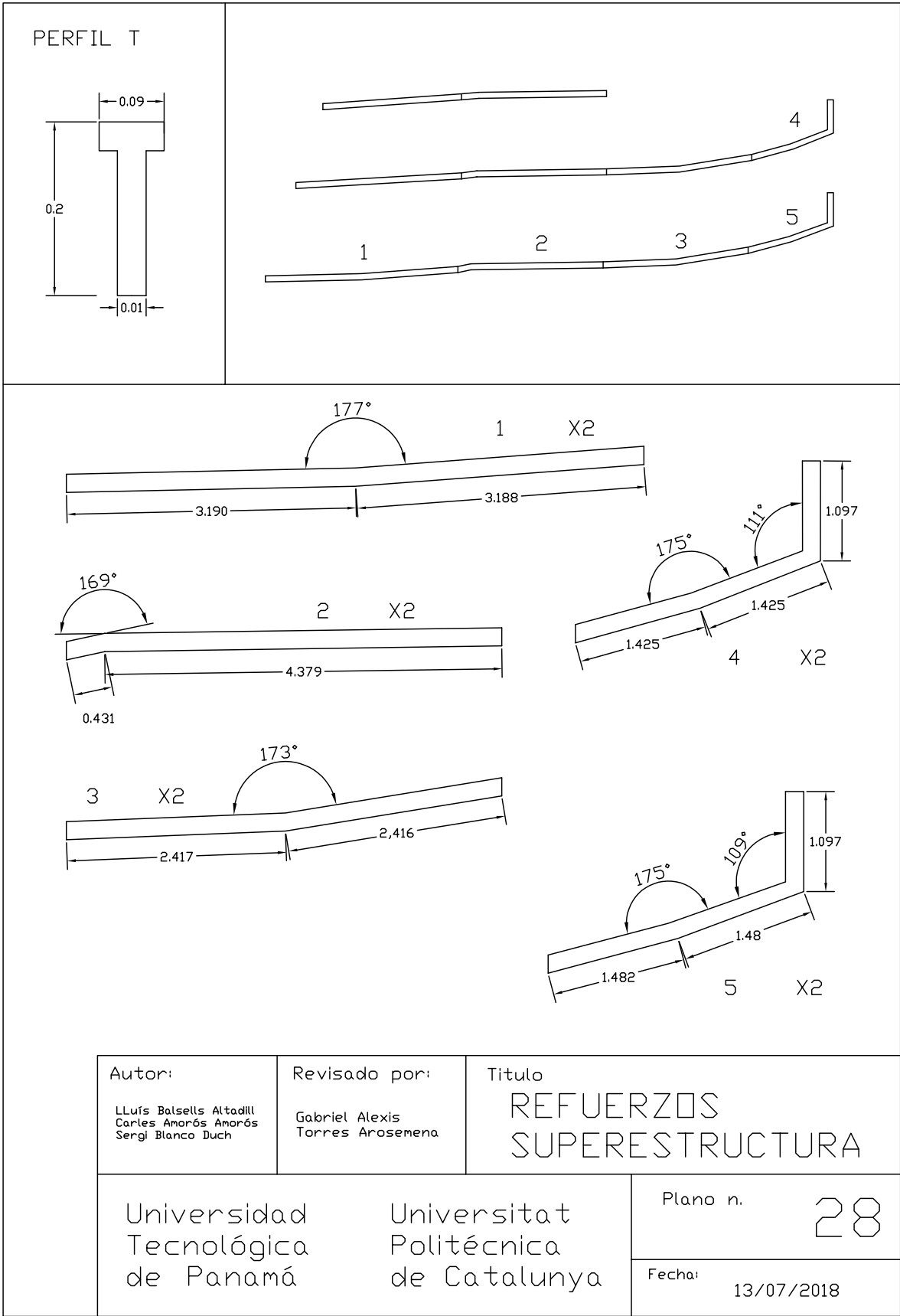
Universitat
Politécnica
de Catalunya

Plano n.

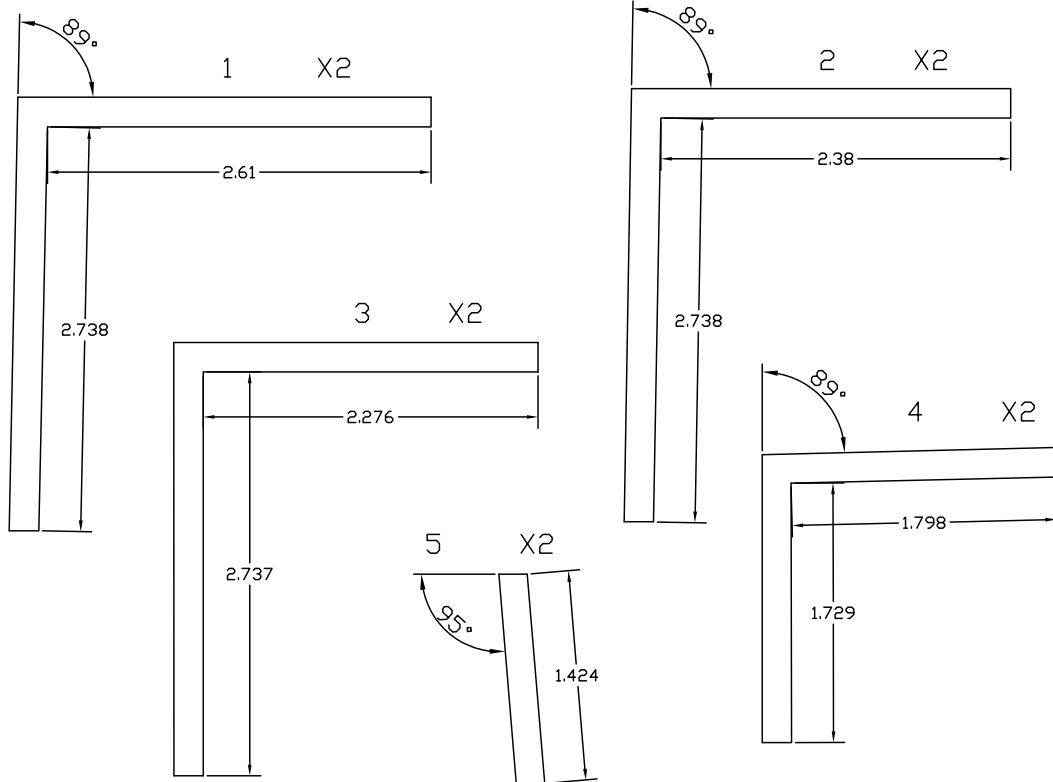
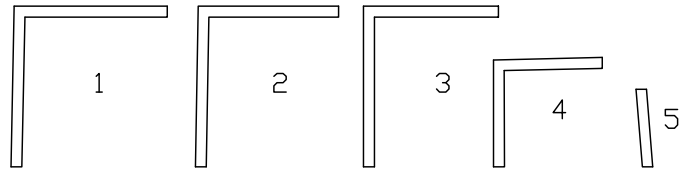
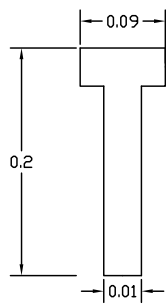
27

Fecha:

13/07/2018



PERFIL T



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Titulo

REFUERZOS
SUPERESTRUCTURA

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

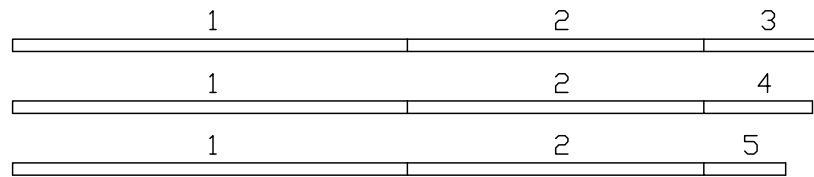
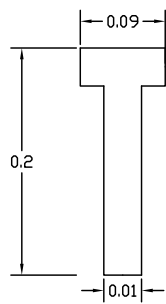
Plano n.

29

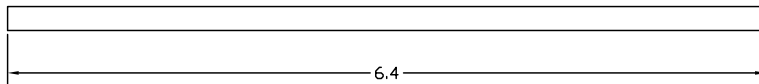
Fecha:

13/07/2018

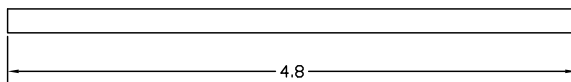
PERFIL T



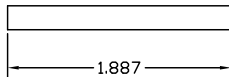
1 X5



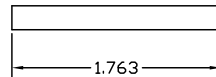
2 X5



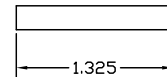
3



4 X2



5 X2



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

REFUERZOS
SUPERESTRUCTURA

Universidad
Tecnológica
de Panamá

Universitat
Politécnica
de Catalunya

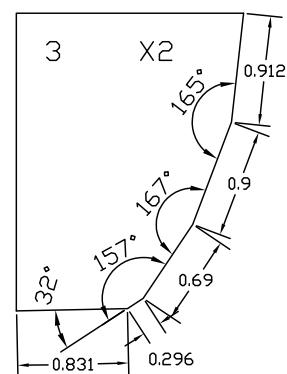
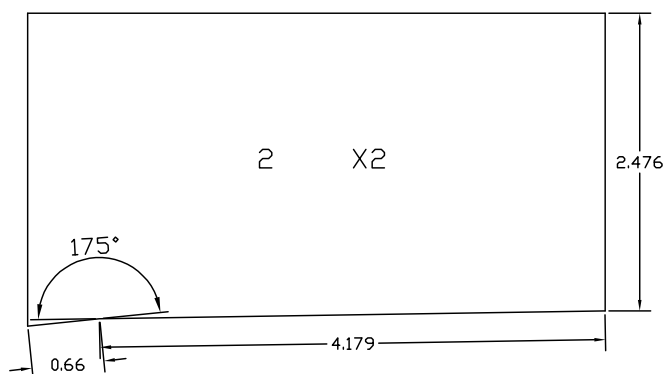
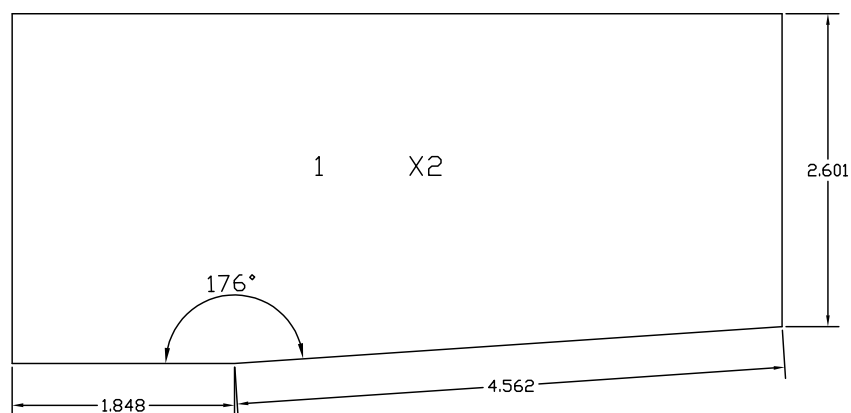
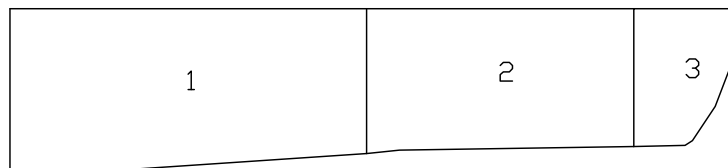
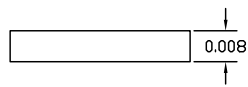
Plano n.

30

Fecha:

13/07/2018

CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

CUBIERTA
SUPERESTRUCTURA

Universidad
Tecnológica
de Panamá

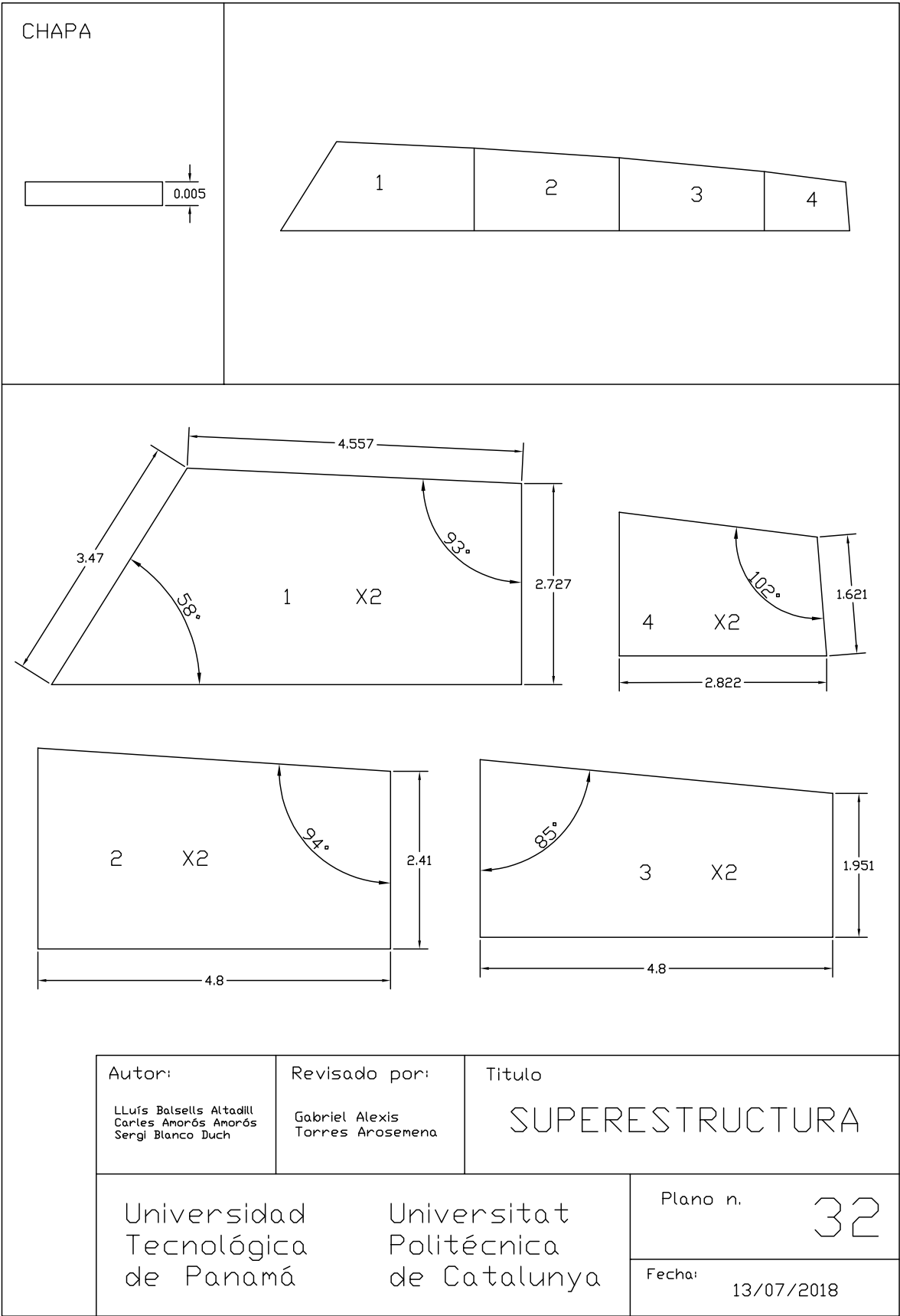
Universitat
Politécnica
de Catalunya

Plano n.

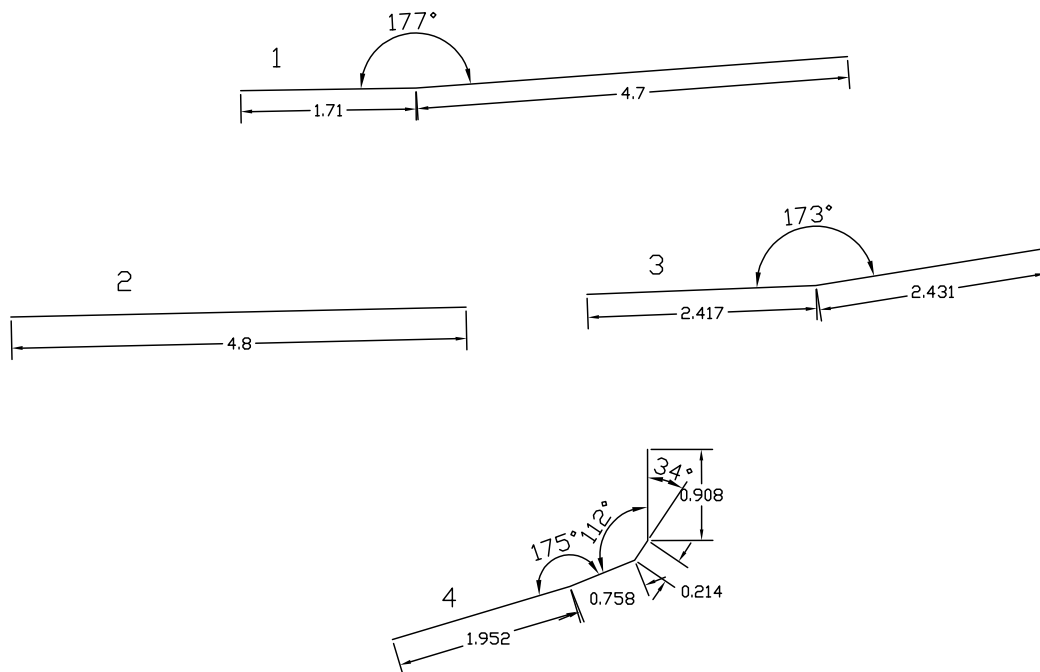
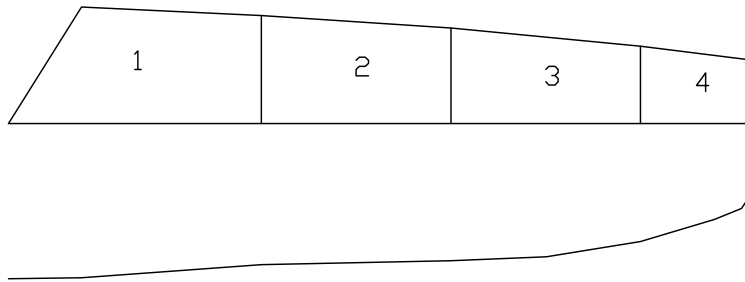
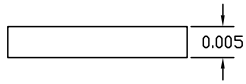
31

Fecha:

13/07/2018



CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Titulo

SUPERESTRUCTURA

Universidad
Tecnológica
de Panamá

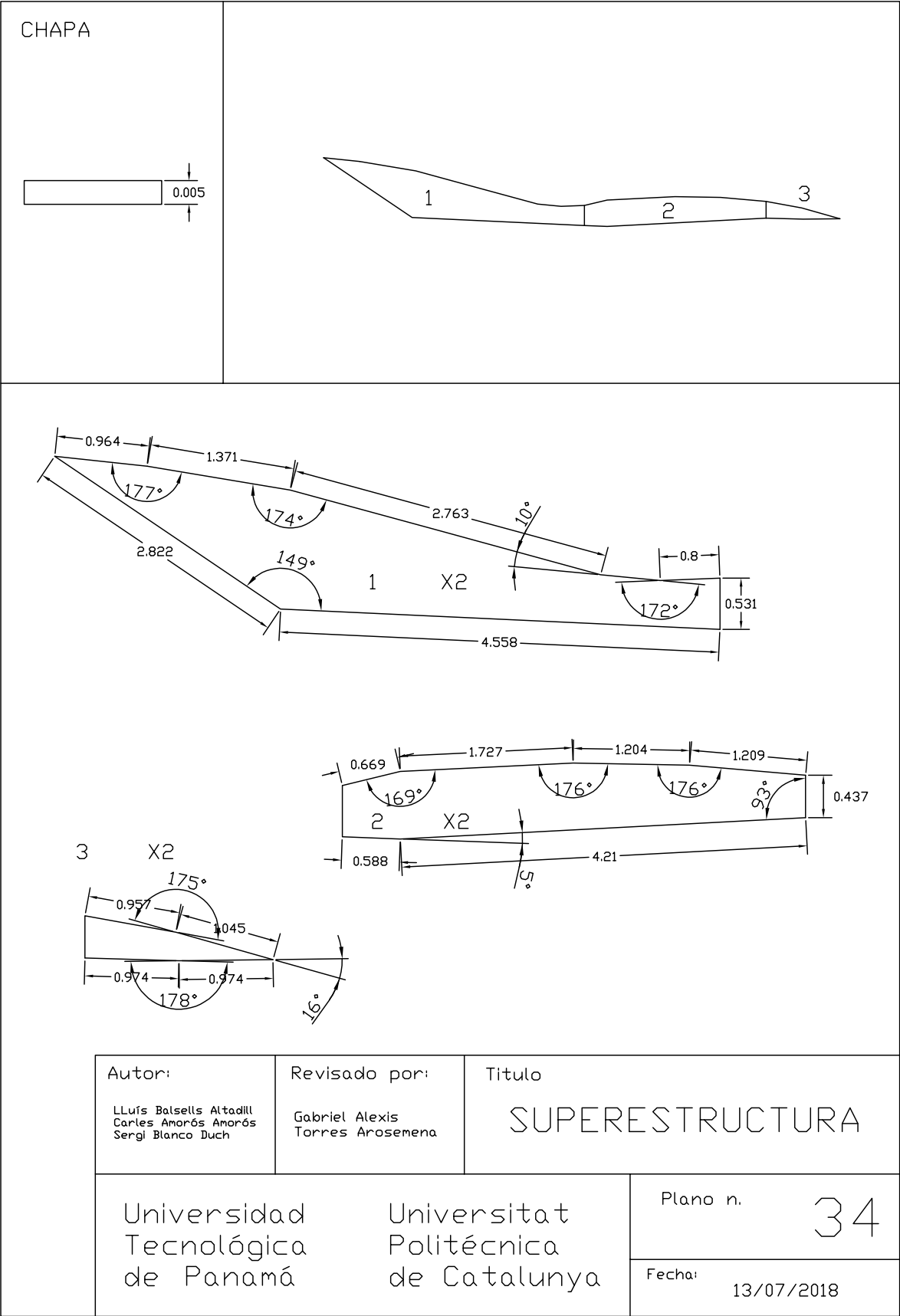
Universitat
Politécnica
de Catalunya

Plano n.

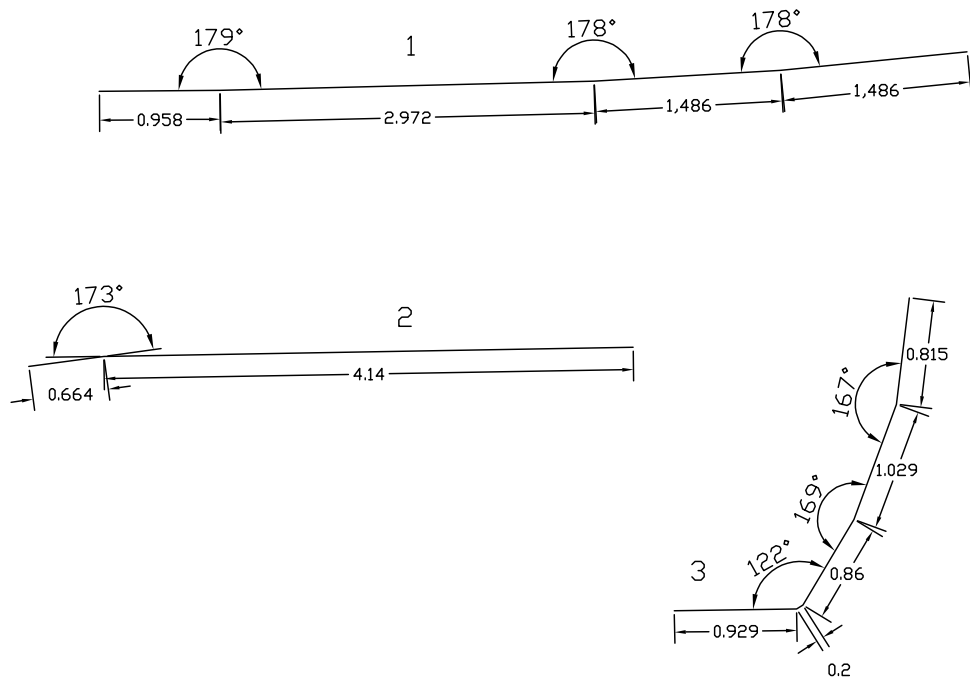
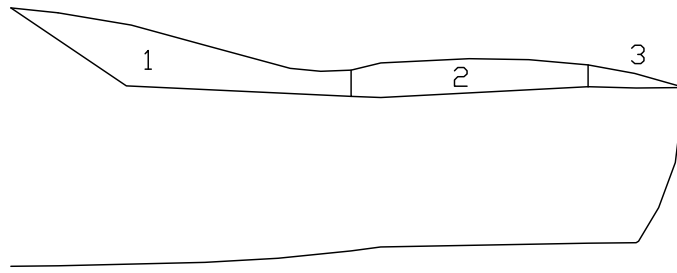
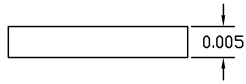
33

Fecha:

13/07/2018



CHAPA



Autor:

LLuís Balsells Altadill
Carles Amorós Amorós
Sergi Blanco Duch

Revisado por:

Gabriel Alexis
Torres Arosemena

Título

SUPERESTRUCTURA

Universidad
Tecnológica
de Panamá

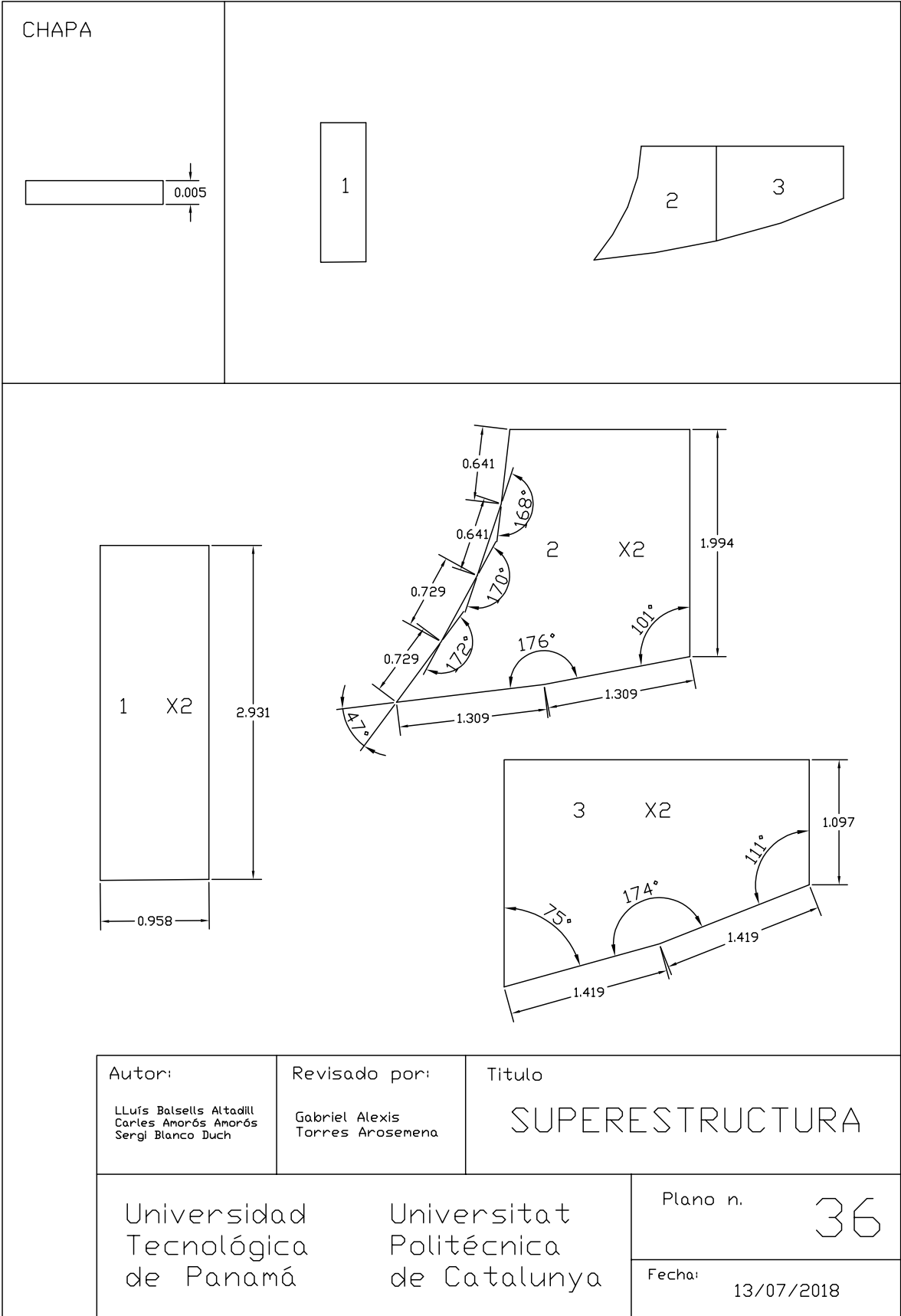
Universitat
Politécnica
de Catalunya

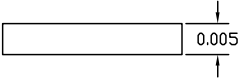

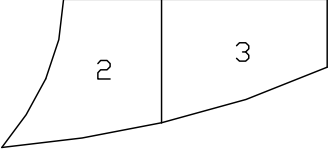


Plano n.

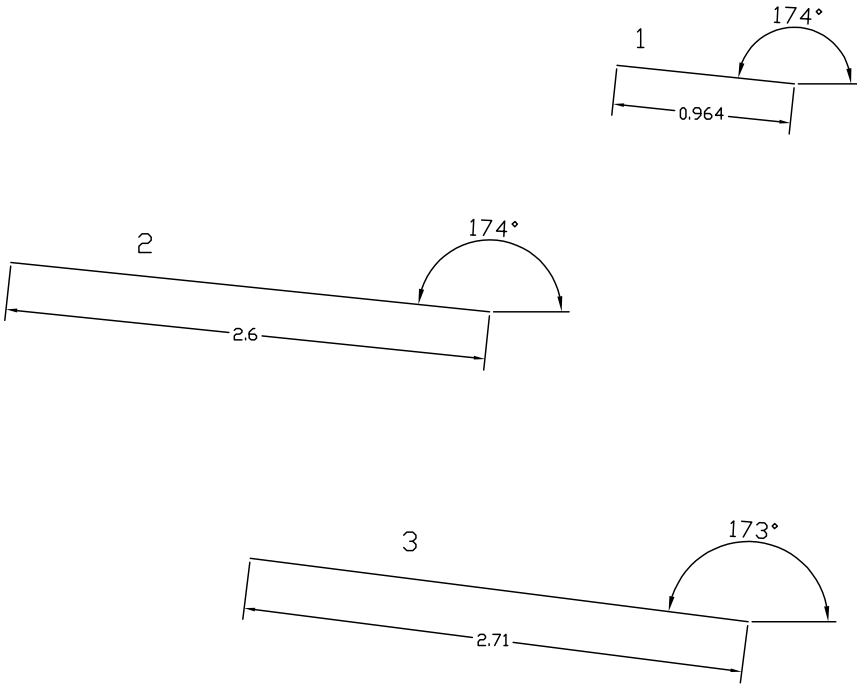
35

Fecha:

13/07/2018



<p>CHAPA</p> 	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;">   </div>
--	---



Autor: Lluís Balsells Altadill Carles Amorós Amorós Sergi Blanco Duch	Revisado por: Gabriel Alexis Torres Arosemena	Título SUPERESTRUCTURA				
Universidad Tecnológica de Panamá	Universitat Politècnica de Catalunya	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%; padding: 5px;">Plano n.</td> <td style="width: 40%; padding: 5px; text-align: center; font-size: 2em;">37</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Fecha:</td> <td style="padding: 5px; text-align: center;">13/07/2018</td> </tr> </table>	Plano n.	37	Fecha:	13/07/2018
Plano n.	37					
Fecha:	13/07/2018					

22.4.1. Soldadura

La soldadura de todas las piezas que forman la estructura es un proceso amplio que debe ejecutarse de forma correcta. Las superficies de las piezas deben ser limpiadas y preparadas para la soldadura, concretamente utilizaremos el proceso de soldadura GMAW (1.1.2. Soldadura, GMAW).

Se trata de uniones de aluminio 5083 H116 con material de aporte ER 5183 y gas de protección (Argón 100%). En el ANEXO 5, vemos una investigación del análisis de soldadura de mismos materiales y mismo proceso.

Esta construcción cuenta con cinco bloques y la superestructura. Primero se sueldan las piezas que forman cada bloque por separado, empezando por la quilla, mamparos, anillos, refuerzos, cubiertas y chapas del casco. En esta fase se empiezan a montar las conducciones, los equipos eléctricos y el resto de las instalaciones, que se integran en las correspondientes unidades. El siguiente paso es unir los bloques entre ellos, este proceso se ejecutará en el dique, dónde una vez terminados de unir todos los bloques, se procede al montaje de los sistemas a bordo y estará listo para pintar.

El bloque 1, es el bloque de popa, el total de la soldadura de todas las piezas es de 136.781 metros de longitud.

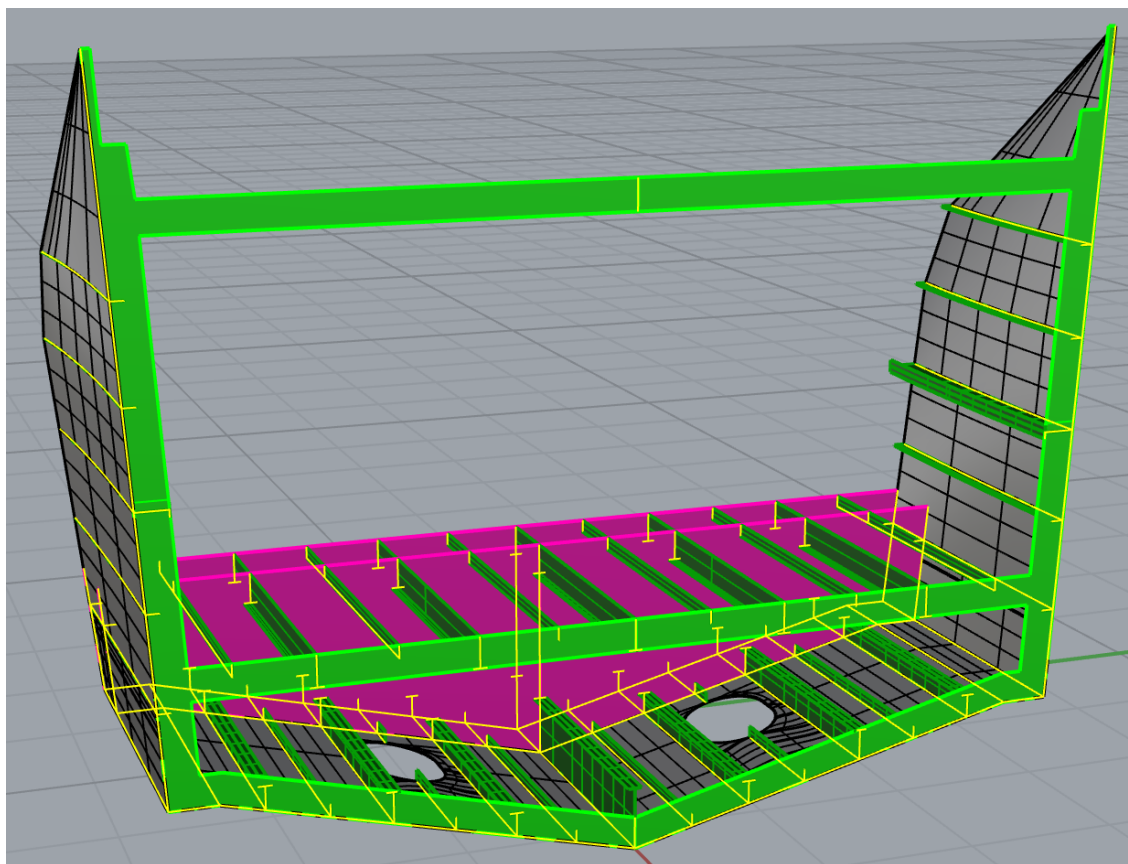


Figura 178 Soldadura bloque 1

La longitud de la soldadura de todas las piezas del bloque 2, es de 318.048 metros.

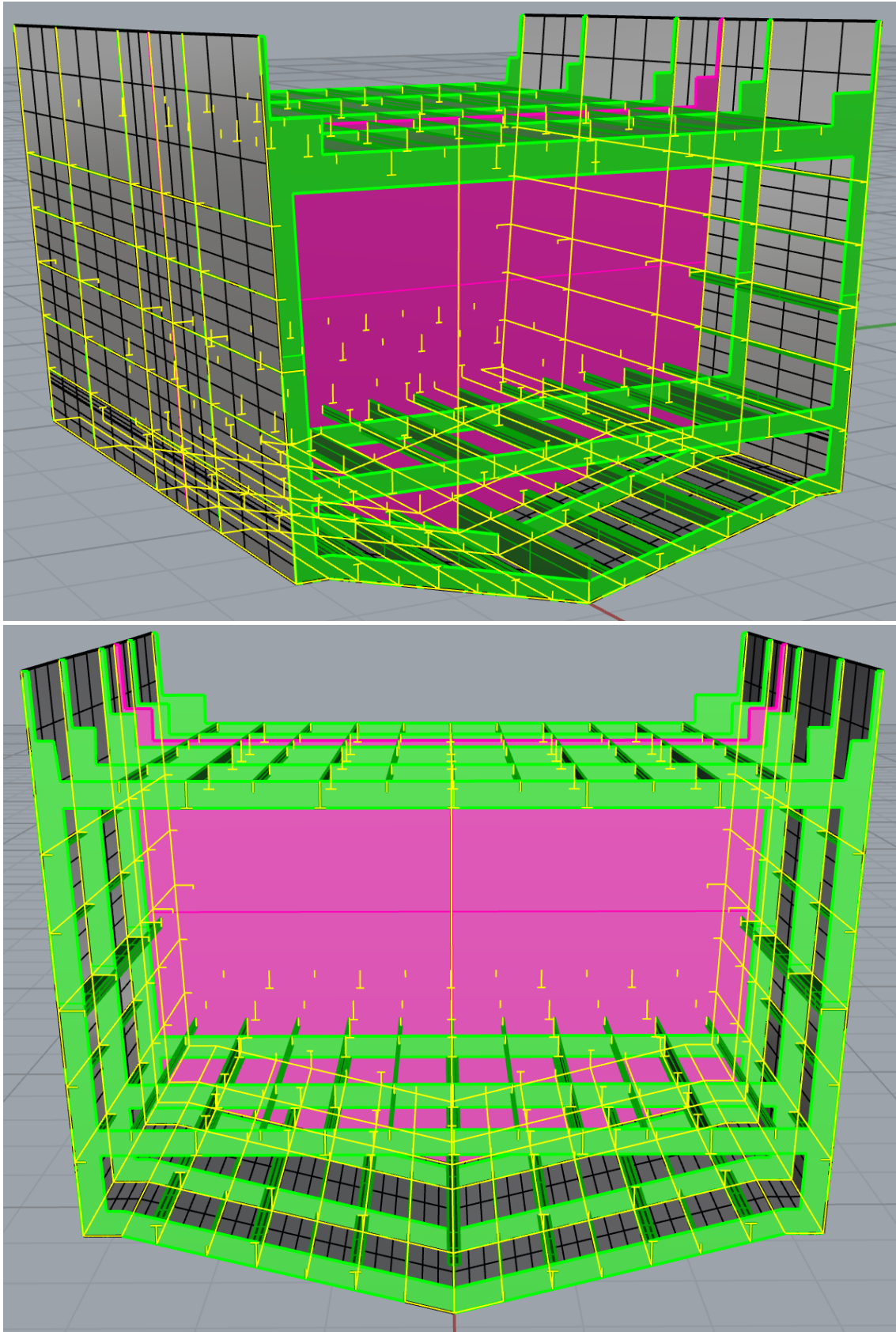


Figura 179 Soldadura bloque 2

La longitud de la soldadura de todas las piezas del bloque 3, es de 251.114 metros.

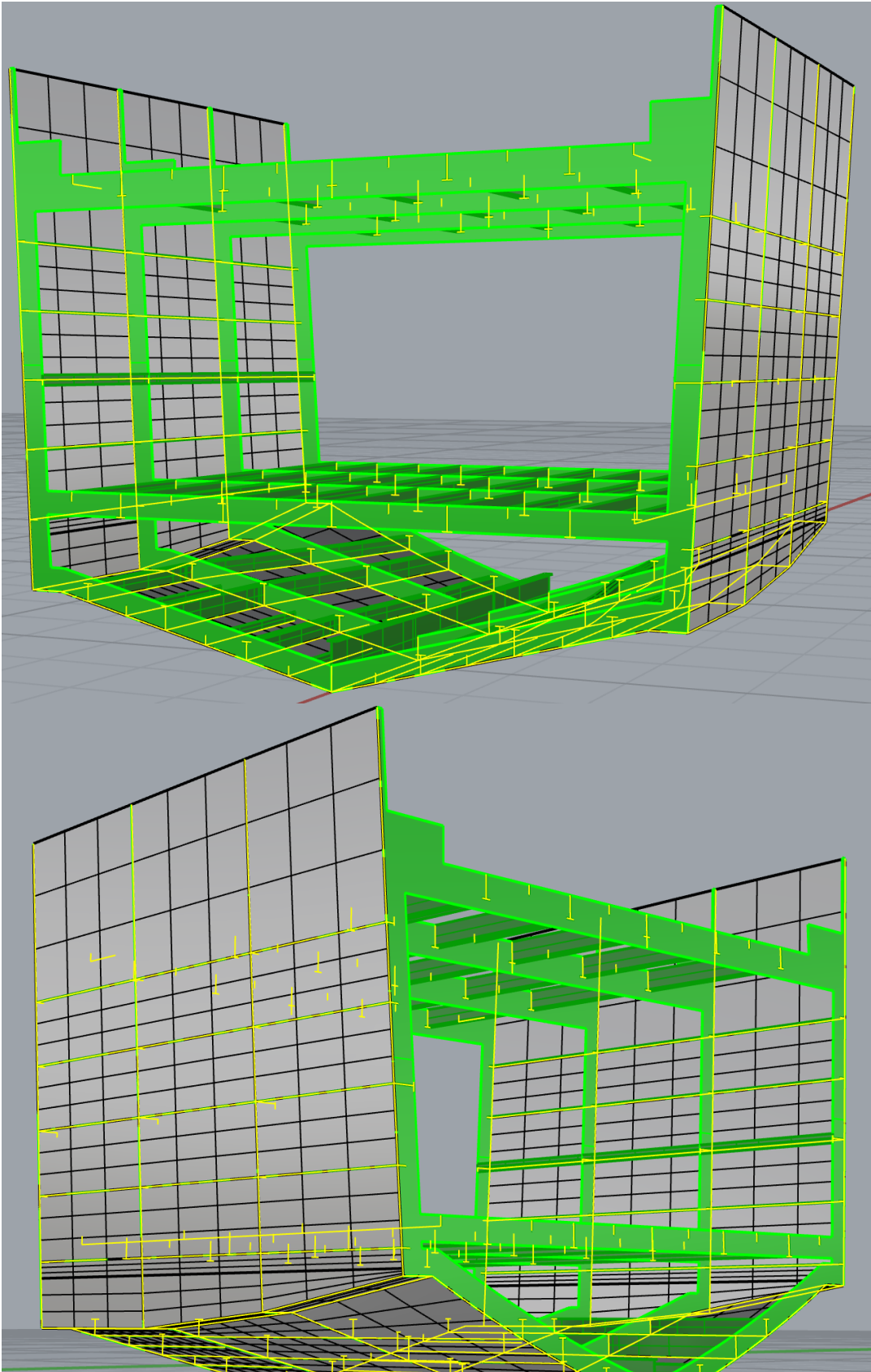


Figura 180 Soldadura bloque 3

La longitud de la soldadura de todas las piezas del bloque 4, es de 248.418 metros.

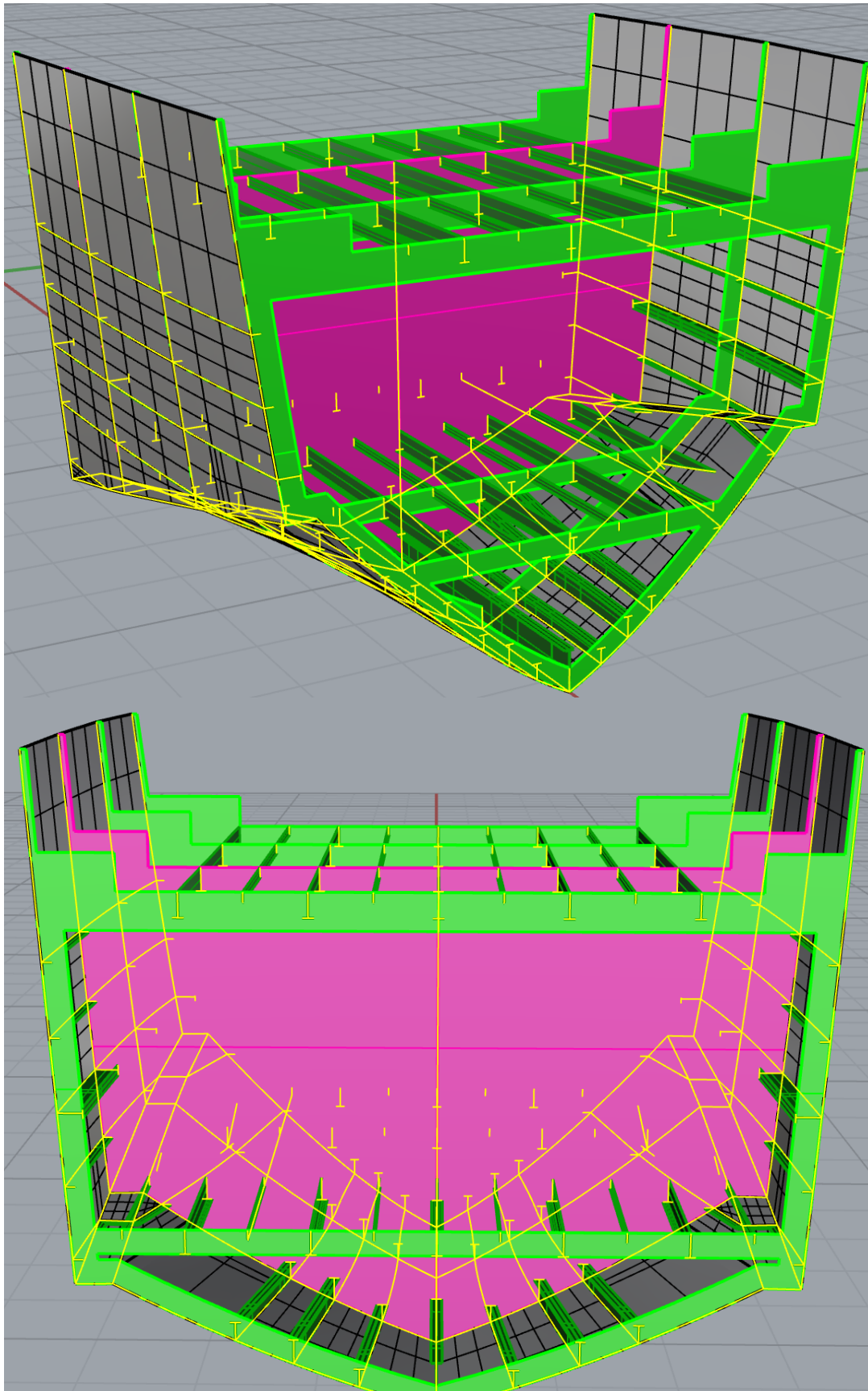


Figura 181 Soldadura bloque 4

La longitud de la soldadura de todas las piezas del bloque 4, es de 303.103 metros.

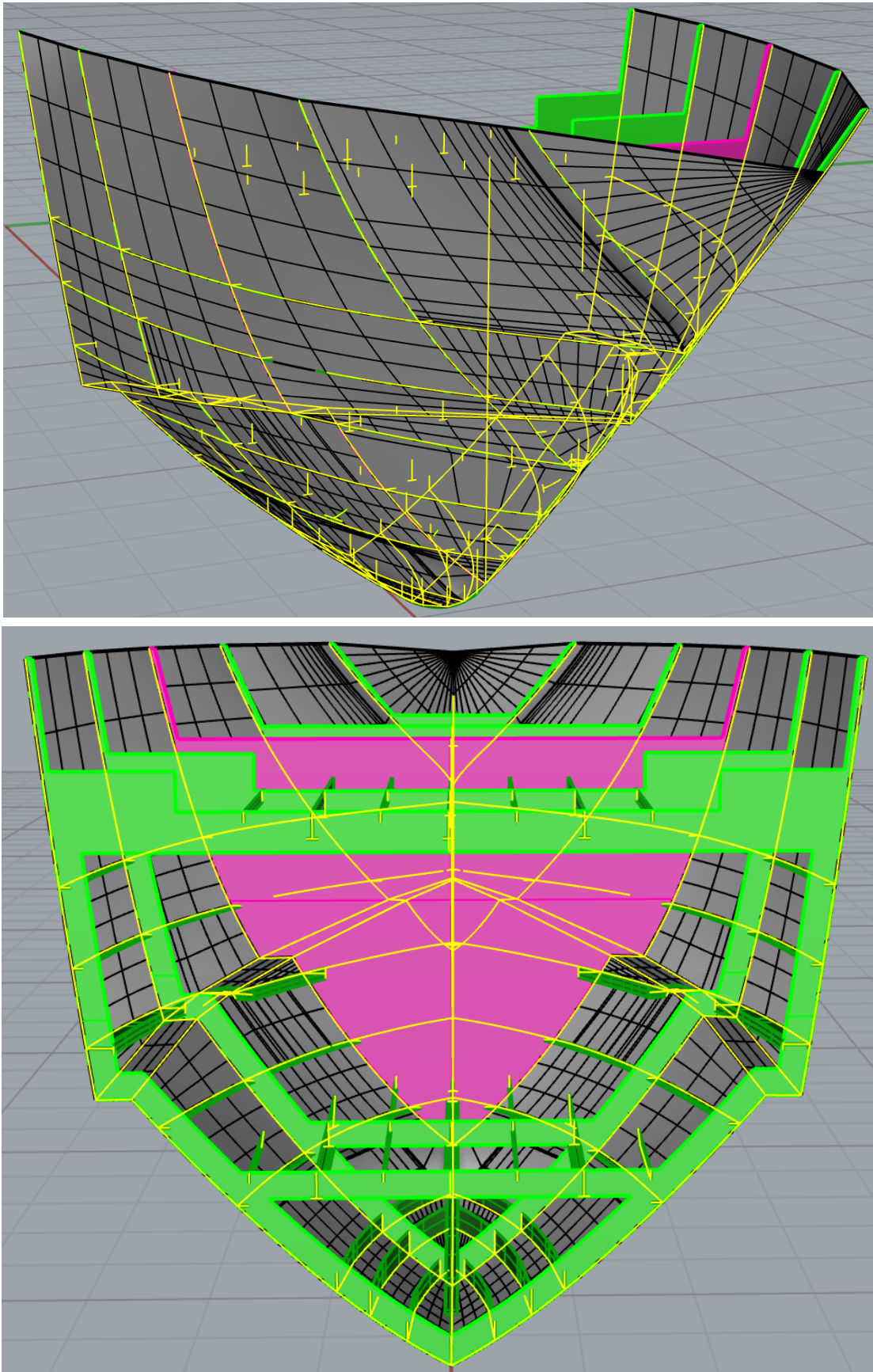


Figura 182 Soldadura bloque 5

La longitud de la soldadura de todas las piezas de la superestructura, es de 331.199 metros.

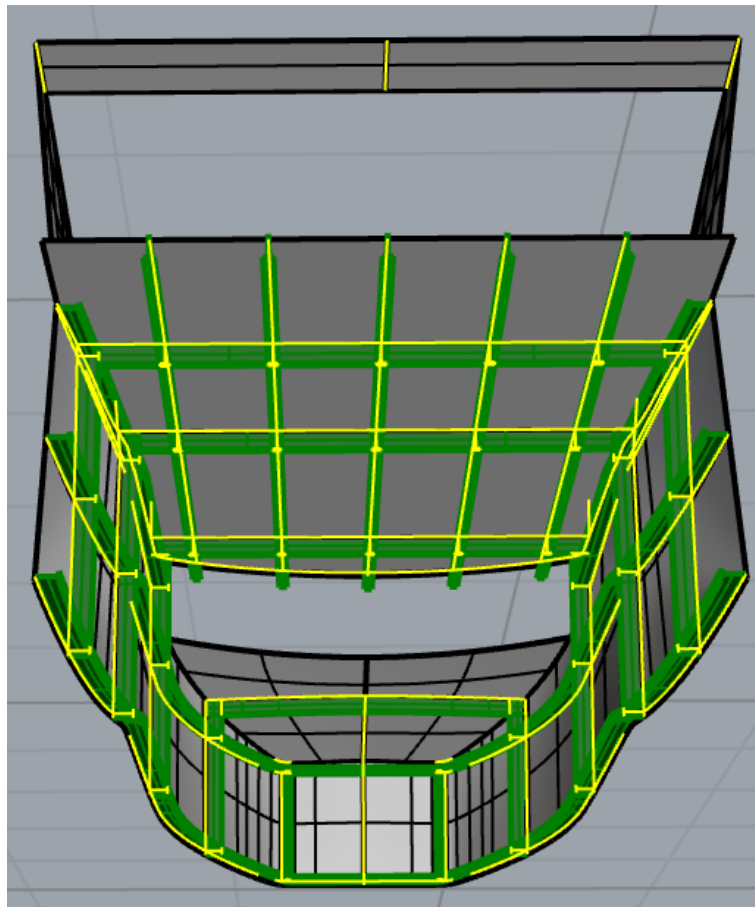
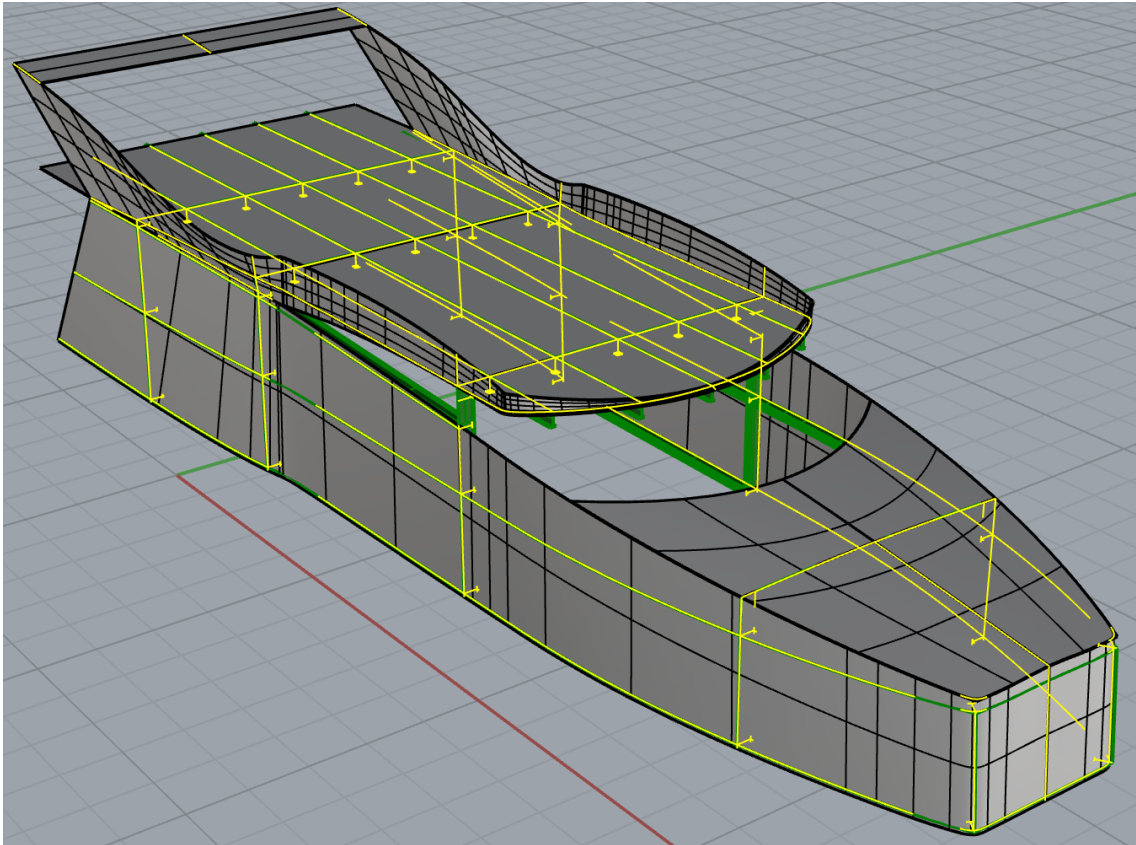


Figura 183 Soldadura superestructura

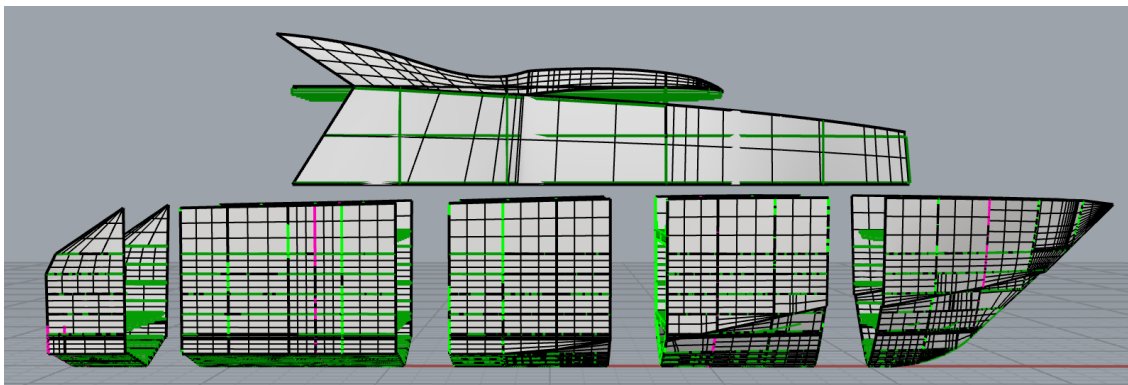


Figura 184 *Bloques del yate*

Cada una de las soldaduras de montaje y unión de bloques tienen que ser revisadas e inspeccionadas, mediante ensayos no destructivos como pueden ser: líquidos penetrantes, ultrasonidos o por rayos x. Durante este proceso de soldadura y unión de bloques se instalarán equipos de sistemas como de maniobra, eléctrico y el resto de instalaciones por bloques, y finalmente se instalan los sistemas a bordo. A continuación, vemos los equipos instalados en cada bloque y la sección en la unión de bloques.

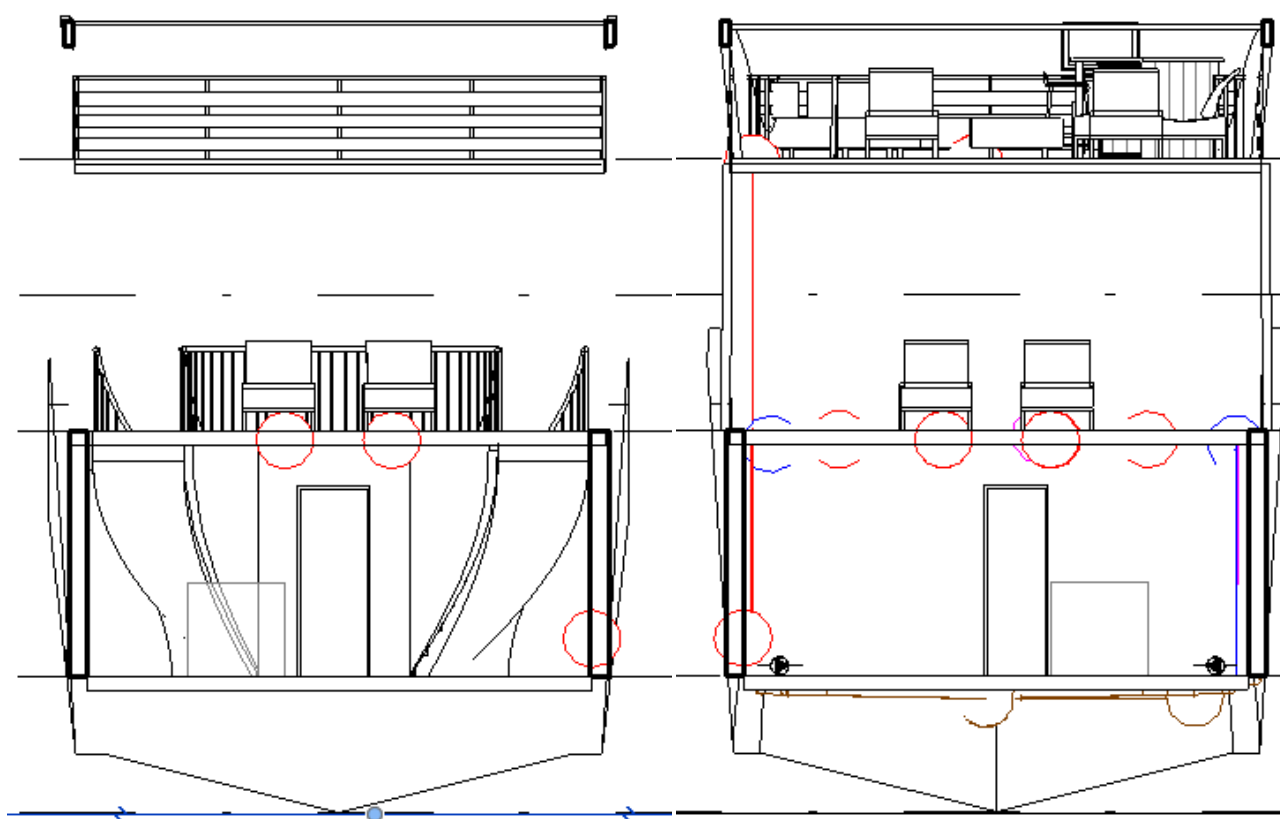


Figura 185 *Sección bloques 1-2*

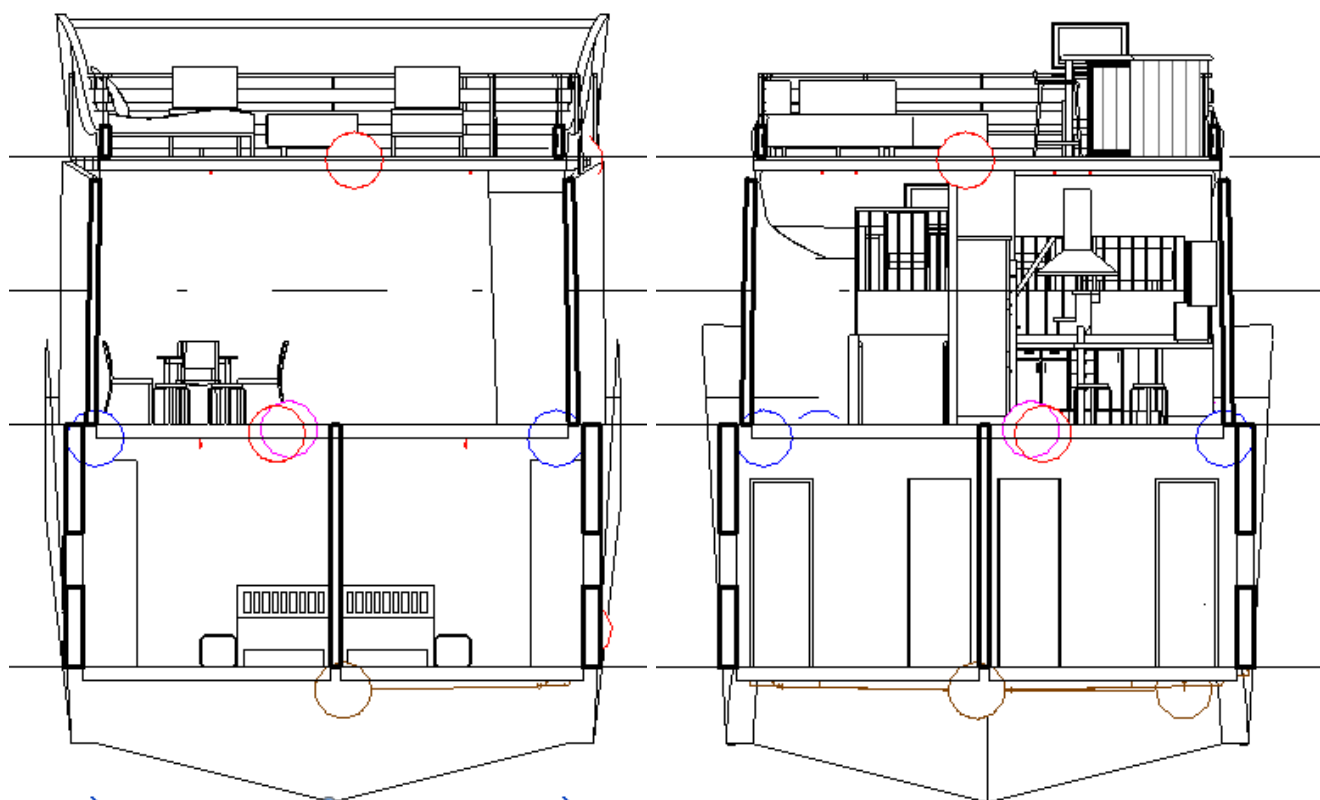


Figura 186 Sección bloques 2-3

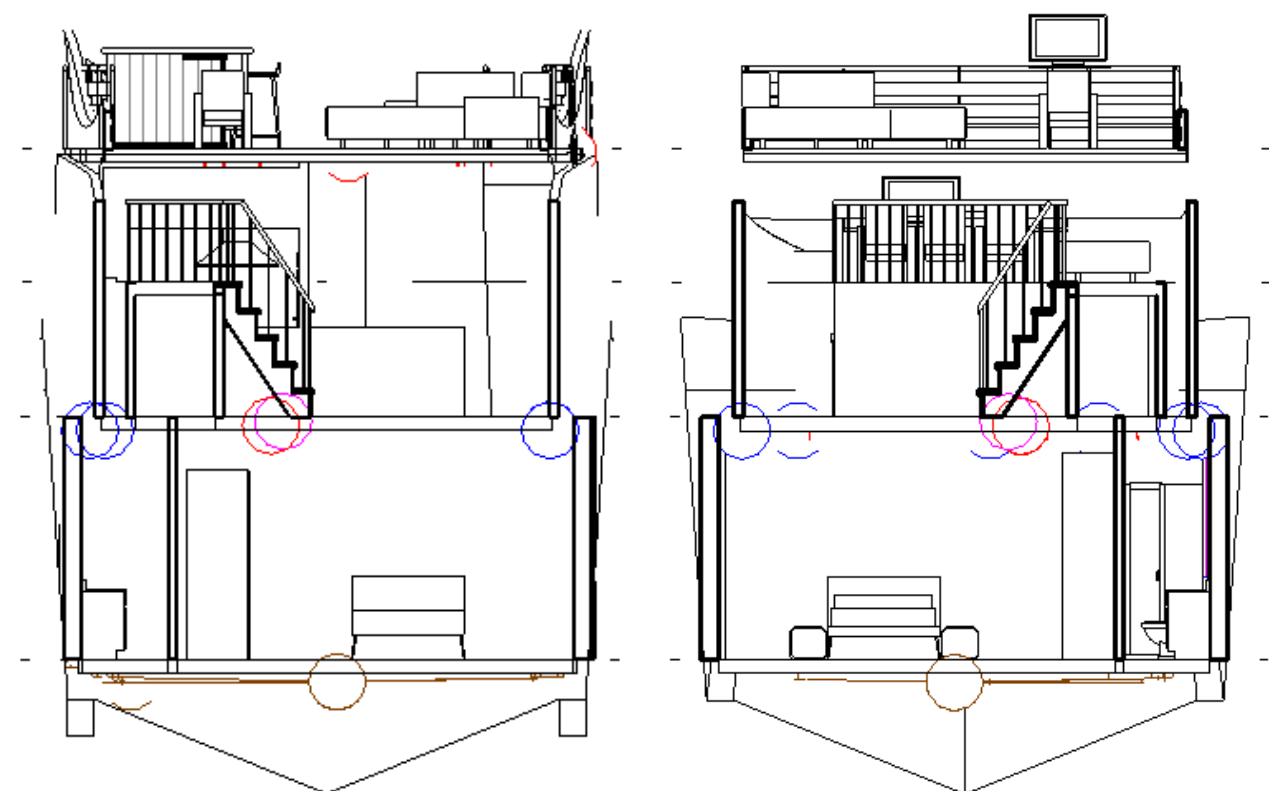


Figura 187 Sección bloques 3-4

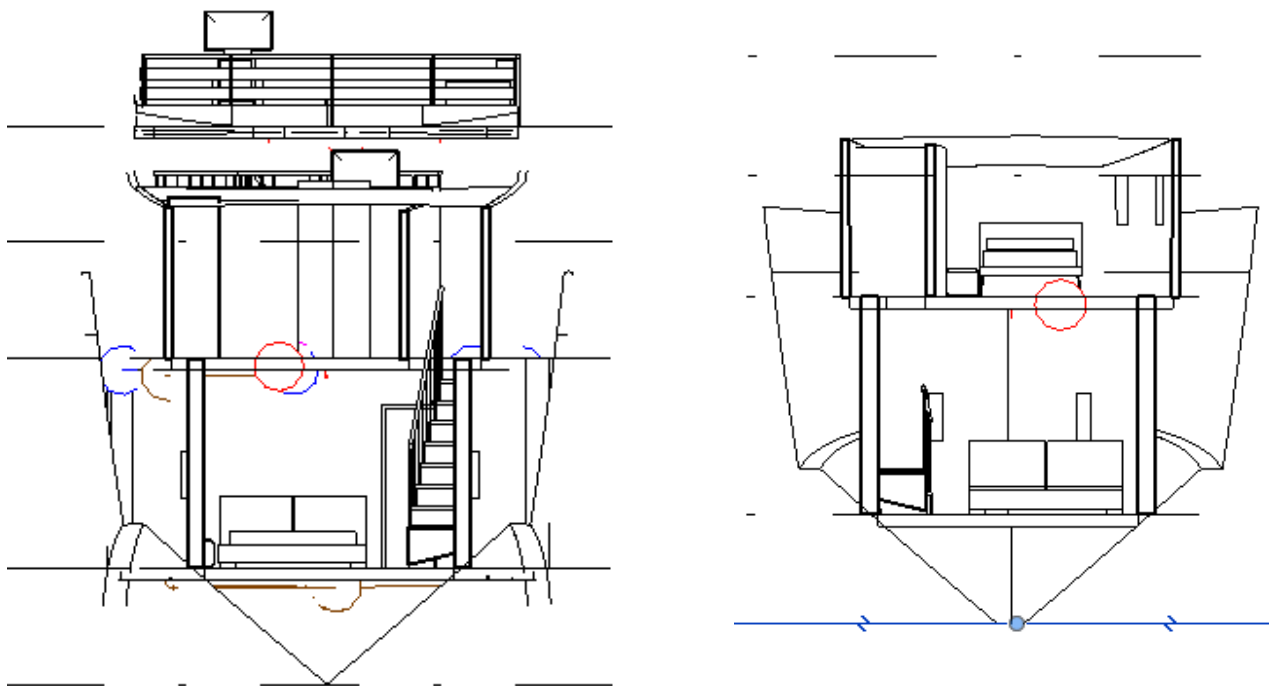


Figura 188 Sección bloques 4-5

22.4.2. Pintura

El aluminio es un material ligero y fuerte que no se corroe en contacto con el agua y, por tanto, muy apropiado para la construcción naval. Lleva una capa de óxido que lo protege, pero, esta capa, puede ser fácilmente dañada porque es muy fina y, además, puede ser atacada por sales del agua de mar. En ausencia de la capa de óxido, el aluminio se descompondrá rápidamente si se produce corrosión galvánica. Esto ocurre en ambientes húmedos si el aluminio está en contacto con hierro, latón, cobre y acero inoxidable.

Por tanto es muy importante proteger las superficies de aluminio con imprimaciones impermeables o con tratamiento anódico. Además, las pinturas que se usan no pueden contener compuestos metálicos, como el óxido de cobre que se encuentra en la mayor parte de los antifoulings, porque podrían reaccionar con el aluminio. Compuestos de tiocianato de cobre son menos agresivos en contacto con el aluminio, pero también debe evitarse el contacto directo.

Normalmente, las superficies de aluminio y acero galvanizado llevan una capa de óxido que inhibe la adherencia de pinturas. En el caso del aluminio, la capa de óxido, aunque su espesor no sea de más de unas micras, es muy dura y difícil de eliminar. Debe quitarse antes de pintar.

El procedimiento de preparación de la superficie es el siguiente:

1. Limpiar y desengrasar cuidadosamente.
2. Aclarar con agua dulce y dejar secar.

3. Chorreado con abrasivo que no sean metálicos a baja presión o lijar con papel de grano 60 – 120 hasta llegar al metal.
4. Eliminar polvo y herrumbre con cepillo, aspirador o aire a presión
5. Aplicar inmediatamente una imprimación epoxi diluida un 25 % para evitar oxidación de la superficie

A continuación, en la *Tabla 32*, se puede observar el esquema por capas del pintado de las superficies del casco.

Tabla 32 *Esquema de pintado*

Zona a pintar	Nº de capas	Producto (Ver <u>ANEXO 6</u>)
Obre viva	3	Hempel's Light Primer 45551 (Primera capa diluida un 25%)
	2	Hempel's AluXtra 71260
Obra muerta	2	Hempel's Epoxy Filler 35250
	1	Hempel's Light Primer 45551
	2	Hempel's Polyenamell 55100

22.5. Presupuesto

Para determinar el presupuesto de un proyecto sin cometer errores se debe sumar los costos que se hayan estimado para las actividades o paquetes de trabajos establecidos en la estructura de desglose de trabajo, que es el proceso para dividir el proyecto en componentes más pequeños y fáciles de gestionar. Estos datos permiten establecer una línea base de costos estimados, es muy complicado realizar un presupuesto de este calibre, ya que la aproximación de mano de obra, infraestructuras, equipamiento y materiales puede no ser exacta ya que puede haber imprevistos y accidentes, que harán aumentar el tiempo, por lo tanto, el dinero. A continuación, se muestra la estimación del presupuesto de los costos más importantes, despreciando costos pequeños, casi despreciables:

Tabla 33 Presupuesto

		Tiempo (meses)	Unidades	Precio	Precio total
Mano de obra					
	Coordinador del proyecto	6	1	3200	19200
	Soldador	4	12	1823,6	87532,8
	Fresador	2	4	2133,8	17070,4
	Tornero	2	3	2032,2	12193,2
	Electrico	3	7	1265	26565
	Pintor	1	8	1267	10136
	Tubero	2	4	1800	14400
Alquiler infraestructuras					
	Taller	5	2	32500	325000
	Almacén	5	1	16870	84350
	Dique seco	2	1	140000	280000
Alquiler equipamiento					
	Grua	5	3	4500	67500
	Corte y curvatura	2	5	16740	167400
	Soldadura	4	8	9769	312608
	Pintura	1	3	2800	8400
Inventario					
	Aluminio		28622,2365	5,505658	157584,2454
	Habilitación				
		LED	117	4	468
		Luz de lectura	12	24,99	299,88
		Luz de ambiente	28	39,99	1119,72
		Fan coil	8	350	2800
		Enfriador	1	600	600
		Toma de corriente	18	2	36
		Extractor de humos	1	74	74
		Vitrocerámica	1	312,45	312,45
		Lavavajillas	1	299,99	299,99
		Horno microondas	1	767,44	767,44
		Nevera/congelador	1	2581,15	2581,15
		TV 47"	1	370	370
		TV 30"	6	295	1770
		Altavoces waterproof	14	105,99	1483,86
		Receptor audio y video	3	83,99	251,97
		Reproductor CDs	1	279	279
		Control remoto	1	32	32
		Altavoces	13	209	2717
		Receptor satélite	2	107,54	215,08
		Subwoofer	1	189	189

CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN

	Navegación				
		Estación meteorológica	1	98,9	98,9
		Sonda	1	3673,56	3673,56
		Limpia parabrisas	1	32,45	32,45
		Bocina	1	1399	1399
		Luz mástil	1	25	25
		Luz alcance	1	32	32
		Luz remolque	1	45	45
		Luz todo horizonte	1	78	78
		Luz de fondeo	1	67	67
		Antena	1	119	119
		Pantalla	2	391,1	782,2
		Ordenador	2	1569	3138
		Teclado	2	69,99	139,98
		PLC	6	53,99	323,94
		Switch	6	312,09	1872,54
		Gate Way	6	297	1782
		Piloto automático	1	1405	1405
		AIS	1	1283,99	1283,99
		Rádío	1	575	575
		Antena satélite	1	128,77	128,77
	Fondeo-amarre				
		Cabestrante	1	329,89	329,89
		Molinete	1	725	725
	Bombeo				
		Bomba 400V	14	362,02	5068,28
		Calentador	1	436,86	436,86
		Fan coil	2	350	700
	Seguridad				
		Cámara	3	49,99	149,97
		Interfono	2	44	88
		Altavoces intefono	6	121,13	726,78
	Energia				
		Generador Kohler modelo 40EFOZDJ	2	1545,4	3090,8
		Generador Kohler modelo 9EKOZD	1	4943,04	4943,04
		Bateria Trojan 8D-AGM	14	599,99	8399,86
		Cableado	680 m	0,48	326,4
	Plomería				
	CI cubiertas (15mm diametro interior, Acero inoxidable)				

CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN

		Rociador	21	15,61	327,81
		Codo	29	9,91	287,39
		T	3	10,91	32,73
		Cruceta	8	20,66	165,28
		Tubería	65,6382 m	0,536	35,1820752
	CI sala de máquinas (15mm diametro interior, Acero inoxidable)				
		Rociador	15	15,61	234,15
		Codo	17	9,91	168,47
		T	2	10,91	21,82
		Cruceta	6	20,66	123,96
		Tubería	40,2706 m	0,536	21,5850416
	Agua fría (15 mm diametro interior, Acero inoxidable)				
		Codo	39	9,91	386,49
		T	3	10,91	32,73
		Tubería	38,055 m	0,536	20,39748
	Agua fría (40 mm diametro interior, Acero inoxidable)				
		Codo	6	17	102
		T	18	18,4	331,2
		Tubería	40,588 m	2,722	110,480536
	Agua caliente (15 mm diámetro interior, Acero inoxidable)				
		Codo	27	9,91	267,57
		T	1	10,91	10,91
		Tubería	43,7874 m	0,536	23,4700464
	Agua caliente (40 mm diametro interior, Acero inoxidable)				
		Codo	2	17	34
		T	7	18,4	128,8
		Tubería	15,9604 m	2,722	43,4442088
	Sanitario (32 mm diámetro interior, PVC)				
		Codo	13	1,28	16,64
		Tubería	15,5395 m	1,46	22,68767
	Sanitario (50 mm diámetro interior, PVC)				
		Codo	6	1,65	9,9
		Tubería	14,3907 m	3,53	50,799171
	Sanitario (80 mm diámetro interior, PVC)				
		Codo	8	2,25	18
		T	12	1,56	18,72
		Tubería	25,6328 m	11,02	282,473456
	Equipamiento				
		Inodoros	6	69,99	419,94
		Lavavos	6	105	630
		Duchas	6	19,99	119,94
		Fregadero	1	199	199
PRECIO FINAL					1653290,36

*Este presupuesto no tiene ninguna validez legal, el contenido es puramente didáctico, no se debe utilizar como plantilla para otros proyectos, ya que puede escasear de exactitud y tener errores de cálculo o de información.

Bibliografía

- [1] J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller and E. Oñate. *A plastic-damage model for concrete*. International Journal of Solids and Structures. 1989, 25(3): 299-326
- [2] Tabares, E. (2001). Ingeniería de soldadura. Bogotá:Universidad Nacional de Colombia – Departamento de Ingeniería Mecánica.
- [3] Hernández, G. (2003). Manual del soldador. Asociación Española de Soldadura y Tecnología de Unión.
- [4] Journal of achievements in materials and manufacturing engineering. Arc voltage behavior of one drop per pulse mode in GMAW Pulsed. Vol. 17- Issue 1-2. July-August. 2006.
- [5] Tecnología en soldadura. Disponible en: www.sunarc.com, 2006.
- [6] American Bureau of Shipping. Requirements for materials and welding. Part 2. Aluminum.
- [7] Alu-stock S.A. (2007). El libro del aluminio, industria y arquitectura. Capítulo 10. Información técnica.
- [8] Howard, C. (1981). Manual de soldadura moderna. Tomo 1, segunda edición. Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- [9] Mangonon, L. (2001). Ciencia de materiales. Selección y diseño. Pat L. Prentice Hall.
- [10] IACS “International Association of Classification Societies Section W25”.
- [11] ABS (American Bureau of Shipping). Part 2 Appendix 2/E.
- [12] ASM Metals HandBook. Volume 6. Welding, brazing, and soldering, pág. 1801.
- [13] Abello, L. (2008). Gases de protección para la soldadura.
- [14] Guardia, J. (2003). Procesos de soldadura por arco pulsado. EXSA - OERLIKON.
- [15] <http://spanish.alibaba.com/product-gs/aluminumwire-er5183-html>.
- [16] Giachino, J. and Weeks W. (2007). Técnica y práctica de la soldadura.
- [17] Hermann R. (et al) (1996). Liquation cracking in aluminium alloy welds. Material science and engineering A. pp 247-255.
- [18] Hepples, W. (et al). (1992). Microestructural characterization of white zones in weldable 7000 series alloys. Journal of Materials Science. Vol. 27, Iss 21, pp 5720-5725.
- [19] Debbouz, O. (et al) (1997). Mechanical characterization by dynamical tensile loading of 20127 aluminium alloy joints welded by diffusion bonding. New results and SEM observations of the failure surfaces. Journal of Materials Science. Vol. 32, pp. 475-482.
- [20] Bloem, C. (et al) (2000). Estudio microestructural y de resistencias de uniones soldadas de aleación AW 7020 por procedimiento MIG en función de la preparación de bordes. Revista Metalurgia. Vol. 36 pág 33-30.
- [21] Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 22, No. 2.2000.
- [22] <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/viewFile/>
- [23] Huehl, R. (2008). Diseño de experimentos. Segunda edición, Thomson Learning.
- [24] AWS D1.2. Structural welding code. Aluminum.
- [25] The finite element method. Basis and fundamentals, O.C. Zienkiewicz, May 2005
- [26] Ramseries practice Compass, ingeniería y sistemas.
- [27] Det Norske Veritas - Germanischer Lloyds Rules and Guidelines, gl group ,2017

- [28] **AENOR UNE-EN ISO 8666.** Pequeñas embarcaciones. Datos principales. Madrid 2003.
- [29] **AENOR UNE-EN ISO 12215-5.** Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones. Parte 5: presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón. Madrid 2008.
- [30] **AENOR UNE-EN ISO 12217-1.** Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcación no propulsada a vela de eslora igual o superior a 6 m. Madrid 2016.
- [31] **Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval.** Apuntes de diferentes asignaturas como Proyectos, con el Dr. Julio García Espinosa, o Propellers, con Joel Jurado. Barcelona 2013 – 2017.
- [32] **“Principles of Yacht Design”.** Lars Larsson, Rolf E. Eliasson. 3rd Edition. London 2000.

ANEXOS